РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ

В Е С Т Н И К

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№1

ISSN 1829-0450

ЕРЕВАН 2010

**РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

В Е С Т Н И К

СЕРИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№1

Издательство РАУ

Ереван 2010

Печатается по решению Ученого совета РАУ

Вестник РАУ. №1. – Ер.: Из-во РАУ, 2010. – с. 86.

Журнал входит в перечень периодических изданий, зарегистрированных ВАК РА

ISSN 1829-0450

ПО ИТОГАМ ТРЕТЬЕГО РОССИЙСКО-АРМЯНСКОГО СОВЕЩАНИЯ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

8 октября 2010 года в Цахкадзоре успешно завершилось Третье Российско-Армянское Совещание по математической физике, комплексному анализу и смежным вопросам, организаторами которого явились Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, институт математики НАН РА, Российско-Армянский (Славянский) университет, Ереванский Государственный университет. Сопредседателями оргкомитета Совещания выступили академик РАН В.В. Козлов и академик НАН РА Н.У. Аракелян. С российской стороны в работах Совещания приняли участие ведущие ученые: в их числе такие известные математики, как академик РАН С.И. Адян, члены-корреспонденты РАН И.В. Волович, Д.В. Трещев, Е.М. Чирка, профессор А.Г. Сергеев – зам. директор института из Математического института им. В.А. Стеклова РАН, профессора А.К. Цих, А.М. Кытманов, А.К. Гущин и др. С армянской стороны в Совещании участвовали известные армянские математики Н.У. Аракелян, Н.Б. Енгибарян, А.А. Талалян, А.Б. Нерсесян, Р.В. Амбарцумян и др. С интересными научными докладами выступили сотрудники РАУ профессора Г.Г. Казарян, Г.А. Карапетян, В.Н. Маргарян, д.ф.-м.н. Р.Г. Арамян и другие. Спектр обсуждаемых на различных Секциях проблем охватывали многие разделы современной математики, касающиеся теории обобщенных функций, теории аналитических и гармонических продолжений, теории дифференциальных и интегральных уравнений, теории групп и меры и др. Полученные результаты вносят существенный вклад в развитие соответствующих разделов математической физики и комплексного анализа.

Совещание еще раз подтвердило стремление сохранить и развивать уже давно сложившиеся научные и научно-образовательные связи России и Армении, находить новые проекты сотрудничества между нашими академическими и университетскими сообществами. Надо заметить, что факт тесного сотрудничества наших научных учреждений и университетов с ведущим мировым центром математической науки, которым является Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, может дать новый импульс армянским исследователям в решении новых проблем, стоящих перед современной математикой. На этом пути важное значение обретает идея создания Российско-Армянского Математического журнала с мощной редакционной коллегией, охватывающей ведущих специалистов не только России и Армении, но и известных специалистов западных университетов и научных центров, выходцев из бывших стран постсоветского пространства. Учредителями такого журнала могут стать Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, Институт математики НАН РА, Российско-Армянский (Славянский) университет, Ереванский государственный университет и др. заинтересованные научные организации. Немаловажным с точки зрения укрепления и развития Российско-Армянских Математических кругов явля-

ется подготовка и реализация в том числе совместных научных проектов, например, в рамках Российского Фонда Фундаментальных Исследований.

С наилучшими пожеланиями и надеждой на более высокие математические открытия и достижения,

Проректор по научной работе РАУ д. филос. наук,
канд. физ.-мат. наук, профессор П.С. Аветисян

УДК 517.956.226

ВЫРОЖДАЮЩИЕСЯ ОБЫКНОВЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА В БЕСКОНЕЧНОМ ИНТЕРВАЛЕ

Л. Тепоян, Х. Ансари

Ереванский Государственный Университет
Азад университет Ахара, Иран

Аннотация. В работе рассматривается следующее уравнение

$$Lu \equiv (t^{\alpha}u'')'' + pt^{-2}u = f, \quad (1)$$

где $t \in (1,+\infty), \alpha \geq 2, p = const, f \in L_{2,2}(1,+\infty)$. Исследуется существование и единственность обобщенного решения уравнения (1), а также даются описания спектра и области определения оператора L.
Ключевые слова: Задача Дирихле, весовые пространства Соболева, обобщенное решение, спектр линейного оператора

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается обобщенная задача Дирихле для вырождающегося обыкновенного дифференциального уравнения четвертого порядка следующего вида

$$Lu \equiv (t^{\alpha}u'')'' + pt^{-2}u = f, \quad (1)$$

где $t \in (1,+\infty), \alpha \geq 2, p = const, f \in L_{2,2}(1,+\infty)$.

Сперва определяется весовое пространство Соболева $W_{\alpha}^{2}(1,+\infty)$ и изучается поведение функций из $W_{\alpha}^{2}(1,+\infty)$ при больших значениях t. Затем определяется обобщенное решение задачи Дирихле для уравнения (1), доказывается его существование и единственность, исследуется область определения $D(L)$ и спектр $\sigma(L)$ оператора L.

Отметим, что вопросы вложения весовых пространств в бесконечном интервале были изучены в [1] и [2]. Наш подход близок к работам [3] и [4], где были рассмотрены задачи Дирихле для уравнения второго и четвертого порядков.

2. ПРОСТРАНСТВО $W_\alpha^2(1,+\infty)$

Пусть $\dot{C}^2[1,+\infty)=\left\{u\in C^2(1,+\infty), u(1)=u'(1)=u(+\infty)=u'(+\infty)=0\right\}$. Обозначим через $\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$ пополнение $\dot{C}^2[1,+\infty)$ по норме

$$\|u\|^2_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)}=\int_1^{+\infty} t^\alpha \left|u''(t)\right|^2 dt.$$

Сперва заметим, что для функций $u\in\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$ при любых $t\in[1,+\infty)$ существуют конечные значения $u(t_0)$ и $u'(t_0)$, причем $u(1)=u'(1)=0$ (см. [2], [5]). Для выяснения поведения функций и их производных при больших значениях t докажем следующее

Утверждение 1. Для элементов $u\in\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$ имеют место следующие оценки

$$\left|u(t)\right|^2\le c_1 t^{3-\alpha}\|u\|^2_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)}, \alpha\ne 1, \alpha\ne 3, \qquad (2)$$

$$\left|u'(t)\right|^2\le c_2 t^{1-\alpha}\|u\|^2_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)}, \alpha\ne 1. \qquad (3)$$

При $\alpha=3$ в неравенстве (2) $t^{3-\alpha}$ заменяется на $\left|\ln t\right|$, а при $\alpha=1$ $t^{3-\alpha}$ на $t^2\left|\ln t\right|$ в (2) и $t^{1-\alpha}$ на $\left|\ln t\right|$ в (3).

Доказательство. Поскольку $\dot{C}^2[1,+\infty)$ плотно в $\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$, то достаточно доказать неравенства (2) и (3) для $u\in\dot{C}^2[1,+\infty)$. Пусть $\alpha>3$. Тогда будем иметь

$$\left|u'(t)\right|^2=\left|\int_t^\infty u''(\tau)d\tau\right|^2=\left|\int_t^\infty \tau^{-\frac{\alpha}{2}}\tau^{\frac{\alpha}{2}}u''(\tau)d\tau\right|^2\le c_1 t^{1-\alpha}\|u\|^2_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)},$$

$$\left|u(t)\right|^2=\left|\int_t^\infty u'(\tau)d\tau\right|^2\le c_1\left|\int_t^\infty t^{\frac{1-\alpha}{2}}d\tau\right|^2\|u\|^2_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)}=c_2 t^{3-\alpha}\|u\|^2_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)}.$$

При $1<\alpha\le 3$ используются равенства $u'(t)=-\int_t^\infty u''(\tau)d\tau, u(t)=$ $=\int_1^t u'(\tau)d\tau$. В остальных случаях доказательство аналогично.

Из Утверждения 1 следует, что для $\alpha>3$ условия $u(+\infty)=u'(+\infty)=0$ после пополнения “удерживаются”, для $1<\alpha\le 3$ “удерживается” только условие $u'(+\infty)=0$, а при $\alpha\le 1$ значения $u(+\infty)$ и $u'(+\infty)$, вообще говоря, могут обращаться в бесконечность.

Пусть $L_{2,\beta}=\left\{f, \|f\|^2_{L_{2,\beta}}=\int_1^\infty t^\beta\left|f(t)\right|^2 dt<\infty\right\}.$

Утверждение 2. При $\alpha \ge 2$ имеет место непрерывное вложение

$$\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty) \subset L_{2,-2}(1,+\infty), \tag{4}$$

которое при $\alpha > 2$ компактно.

Доказательство. В самом деле, из неравенства (2) при $\alpha > 2$ следует, что

$$\int_1^{+\infty} t^{-2}\left|u(t)\right|^2 dt \le c_1 \left\|u\right\|^2_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)} \int_1^{+\infty} t^{-2} t^{3-\alpha} dt = c_2 \left\|u\right\|^2_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)}.$$

Для доказательства вложения (4) при $\alpha = 2$ воспользуемся неравенством Харди (см. [2]). Пусть $u \in \dot{C}^2[1,+\infty)$. Тогда можем записать

$$\int_1^\infty \left|u'(t)\right|^2 dt \le 4\int_1^\infty t^2 \left|u''(t)\right|^2 dt,\ \int_1^\infty t^{-2}\left|u(t)\right|^2 dt \le 4\int_1^\infty \left|u'(t)\right|^2 dt,$$

следовательно мы получаем, что $\int_1^\infty t^{-2}\left|u(t)\right|^2 dt \le 16\int_1^\infty t^2\left|u''(t)\right|^2 dt$. Отметим, что в этом неравенстве число 16 точное. Таким образом, при $\alpha \ge 2$ имеет место неравенство

$$\left\|u\right\|_{L_{2,-2}(1,+\infty)} \le c\left\|u\right\|_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)}. \tag{5}$$

Теперь докажем компактность вложения (4) при $\alpha > 2$. Пусть $\{u_n\}_{n=1}^\infty$ ограниченная в $\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$ последовательность, $\left\|u_n\right\|_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)} \le M$. Докажем, что из этой последователь-ности можно выделить сходящуюся в $L_{2,-2}(1,+\infty)$ подпоследовательность. Выделим из последовательности $\{u_n\}_{n=1}^\infty$ сходящуюся в $L_{2,-2}(1,2)$ подпоследовательность $\{u_{1n}\}_{n=1}^\infty$ (см. [5]). Продолжим этот процесс и из сходящей в $L_{2,-2}(1,k+1)$ последовательности $\{u_{kn}\}_{n=1}^\infty$ выделим сходящуюся в $L_{2,-2}(1,k+2)$ подпоследовательность $\{u_{k+1,n}\}_{n=1}^\infty$. Теперь построим диагональную последовательность $\{u_{nn}\}_{n=1}^\infty$ и докажем ее сходимость в $L_{2,-2}(1,+\infty)$. Для этого нам достаточно доказать, что $\left\|u_{nn}-u_{kk}\right\|_{L_{2,-2}(A,+\infty)} \to 0$ при $A \to +\infty$. Используя неравенство (2) можем написать

$$\left\|u_{nn}-u_{kk}\right\|^2_{L_{2,-2}(1,+\infty)} = \int_A^{+\infty} t^{-2}\left|u_{nn}-u_{kk}\right|^2 dt \le 2\int_A^{+\infty} t^{-2}\left(\left|u_{nn}\right|^2+\left|u_{nn}\right|^2\right)dt \le 4M\int_A^{+\infty} t^{-2}t^{3-\alpha}dt = \frac{4M}{\alpha-2}A^{2-\alpha}.$$

Доказательство закончено.

Замечание 1. При $\alpha < 2$ вложение (4) нарушается.

Действительно, если мы возьмем, например, функцию $u(t)=\sqrt{t}\,\varphi(t)$, где $\varphi\in C^2[1,+\infty)$, $\varphi(t)=0$ при $t\in[1,2]$ и $\varphi(t)=1$ при $t\in[3,+\infty)$, то очевидно, что $u\in\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$, но $u\notin L_{2,-2}(1,+\infty)$.

Замечание 2. При $\alpha=2$ вложение (4) некомпактно.

В самом деле, если мы возьмем ограниченную в $\dot{W}_2^2(1,+\infty)$ последовательность $u_n(t)=n^{-\frac{1}{2}}t^{\frac{1}{2}}\left|\ln t\right|^{-\frac{1}{2}-\frac{1}{2n}}\varphi(t)$, то легко заметить, что из нее нельзя выделить сходящуюся в $L_{2,-2}(1,+\infty)$ подпоследовательность (см. [4]).

3. ЗАДАЧА ДИРИХЛЕ

Теперь определим обобщенное решение задачи Дирихле. Сперва рассмотрим частный случай уравнения (1)

$$Bu\equiv(t^\alpha u'')''=f,\alpha\geq 2, f\in L_{2,2}(1,+\infty). \tag{6}$$

Определение 1. Функция $u\in\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$ называется обобщенным решением задачи Дирихле для уравнения (6), если для любого $v\in\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$ имеет место равенство

$$(t^\alpha u'',v'')=(f,v), \tag{7}$$

где $(\cdot,\cdot)$-скалярное произведение в $L_2(1,+\infty)$.

Утверждение 3. Обобщенное решение уравнения (6) существует и единственно для любого $f\in L_{2,2}(1,+\infty)$.

Доказательство. Единственность обобщенного решения сразу следует из Определения 1, если в равенстве (7) положить $f=0$ и $v=u$. Для доказательства существования обобщенного решения определим функционал $l_f(v)=(f,v)$ над пространством $\dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$ и докажем его непрерывность. Действительно, используя неравенство (5) можем написать

$$\left|l_f(v)\right|\leq\|f\|_{L_{2,2}(1,+\infty)}\|v\|_{L_{2,-2}(1,+\infty)}\leq c\|f\|_{L_{2,2}(1,+\infty)}\|v\|_{\dot{W}_\alpha^2(1,+\alpha)},$$

что и доказывает ограниченность функционала $l_f(v)$. Теперь существование обобщенного решения задачи Дирихле следует из леммы Рисса о представлении ограниченного функционала.

Теперь определим оператор B, соответствующий к Определению 1 обобщенного решения.

Определение 2. Будем говорить, что $u \in \dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$ принадлежит к области определения $D(B)$ оператора B, если существует $f \in L_{2,2}(1,+\infty)$, так что выполняется равенство (7), и тогда будем писать $Bu = f$.

Утверждение 4. Область определения оператора B состоит из функций $u \in \dot{W}_\alpha^2(1,+\infty)$, для которых $u'(+\infty)=0$, а $u(+\infty)$ конечно при $\alpha > \frac{5}{2}$, которое не может быть произвольно и определяется правой частью уравнения (6).

Доказательство. Пусть $\frac{5}{2} < \alpha < 3$ (Заметим, что при $\alpha > 3$ согласно неравенству (2) $u(+\infty)$=0, а случай $\alpha = 3$ рассматривается аналогично). Тогда легко убедиться, что решение уравнения (6) будет иметь следующий вид

$$u(t) = c_1 t^{2-\alpha} + \int_t^{+\infty}\int_\eta^{+\infty} \tau^{-\alpha} \int_1^\tau F(\xi)\, d\xi\, d\tau\, d\eta + c_2,$$

где $F(t) = \int_t^{+\infty} f(\tau)\,d\tau$, а c_1 и c_2 однозначно определяются из условий $u(1) = u'(1) = 0$. Сперва заметим, что $|F(t)|^2 \le t^{-1} \|f\|^2_{L_{2,2}(1,+\infty)}$. Теперь оценим интегральное выражение $\left|\int_t^{+\infty}\int_\eta^{+\infty} \tau^{-\alpha}\int_1^\tau F(\xi)\,d\xi\,d\tau\,d\eta\right| \le \|f\|_{L_{2,2}(1,+\infty)} \left|\int_t^{+\infty}\int_\eta^{+\infty} \tau^{-\alpha}\int_1^\tau \xi^{-\frac{1}{2}}\,d\xi\,d\tau\,d\eta\right| \le$

$$\le 2\|f\|_{L_{2,2}(1,+\infty)} \int_t^{+\infty}\int_\eta^{+\infty} \tau^{\frac{1}{2}-\alpha}\,d\tau\,d\eta \le c_3 \|f\|_{L_{2,2}(1,+\infty)} \int_t^{+\infty} \eta^{\frac{3}{2}-\alpha}\,d\eta = c_4 \|f\|_{L_{2,2}(1,+\infty)}\, t^{\frac{5}{2}-\alpha},$$

следовательно $u(+\infty)$ конечно. Отметим, что $u(+\infty)$ при $2 \le \alpha \le \frac{5}{2}$ может обращаться в бесконечность (см. [4]).

Доказательство закончено.

Оператор B действует из пространства $L_{2,-2}(1,+\infty)$ в пространство $L_{2,2}(1,+\infty)$. Чтобы получить оператор в одном и том же пространстве, что необходимо для изучения спектра оператора, представим функцию $f \in L_{2,2}(1,+\infty)$ в виде $f(t) = t^{-2} g(t)$. Заметим, что если $f \in L_{2,2}(1,+\infty)$, то $g \in L_{2,-2}(1,+\infty)$, причем $\|f\|_{L_{2,2}(1,+\infty)} = \|g\|_{L_{2,-2}(1,+\infty)}$. Определим оператор $\mathrm{B}: L_{2,-2}(1,+\infty) \to L_{2,-2}(1,+\infty)$ формулой $\mathrm{B}u = t^2 Bu, D(\mathrm{B}) = D(B)$. Тогда уравнение (6) принимает следующий вид

$$\mathrm{B}u = g,\ \ g \in L_{2,-2}(1,+\infty), \alpha \ge 2.$$

Теорема 1. Оператор $\mathrm{B}: L_{2,-2}(1,+\infty) \to L_{2,-2}(1,+\infty)$ является положительным и самосопряженным, а обратный оператор $\mathrm{B}^{-1}: L_{2,-2}(1,+\infty) \to L_{2,-2}(1,+\infty)$ ограничен. При $\alpha > 2$ оператор B^{-1} компактен.

Доказательство. Положительность и симметричность оператора B следуют из Определения 1, следовательно $D(\mathrm{B}) \subset D(\mathrm{B}^*)$. Теперь докажем, что оператор B^* обратим. Пусть $v \in D(\mathrm{B}^*)$, $\mathrm{B}^* v = 0$. Тогда для любого $u \in D(\mathrm{B})$ имеет место равенство $(\mathrm{B}u, v) = (u, \mathrm{B}^* v) = 0$ (здесь $(\cdot,\cdot)$-скалярное произведение в $L_{2,-2}(1,+\infty)$). Согласно Утверждению 3 (область значений оператора B совпадает с $L_{2,-2}(1,+\infty)$) отсюда заключаем, что $v = 0$. Теперь самосопряженность оператора B немедленно следует из его обратимости. Из равенства (7) при $v = u$ и из неравенства (5) получаем, что

$$(t^\alpha u'', u'') = \|u\|^2_{\dot{W}^2_\alpha(1,+\infty)} = (f, u) \le \|f\|_{L_{2,2}(1,+\infty)} \|u\|_{L_{2,2-}(1,+\infty)} \le c\|f\|_{L_{2,2}(1,+\infty)} \|u\|_{\dot{W}^2_\alpha(1,+\infty)},$$

т.е. имеем $\|u\|_{W^2_\alpha(1,+\alpha)} \le c\|f\|_{L_{2,2}(1,+\alpha)} = c\|g\|_{L_{2,-2}(1,+\alpha)}$. Следовательно, используя определение оператора B и неравенство (5) имеем

$$\|\mathrm{B}^{-1} g\|_{L_{2,-2}(1,+\infty)} = \|u\|_{L_{2,-2}(1,+\infty)} \le c\|u\|_{\dot{W}^2_\alpha(1,+\infty)} = c_1 \|g\|_{L_{2,-2}(1,+\infty}, $$

из чего следует ограниченность оператора B^{-1} при $\alpha \ge 2$. Компактность оператора B^{-1} при $\alpha > 2$ следует из компактности вложения (4), поскольку $R(\mathrm{B}^{-1}) = D(\mathrm{B}) \subset \dot{W}^2_\alpha(1,+\infty)$.

Доказательство закончено.

Таким образом, мы имеем, что при $\alpha > 2$ оператор B^{-1} является компактным самосопряженным оператором, поэтому имеет место следующее (см. [6])

Следствие. Спектр оператора $\mathrm{B}: L_{2,-2}(1,+\infty) \to L_{2,-2}(1,+\infty)$ при $\alpha > 2$ чисто точечный $\sigma(\mathrm{B}) = \sigma_p(\mathrm{B})$, а система собственных является полным в $L_{2,-2}(1,+\infty)$.

Заметим также, что при $\alpha = 2$ спектр оператора B является недискретным (см. [7]) как следствие некомпактности вложения (4). На самом деле справедлива следующая

Теорема 2. Спектр оператора B при $\alpha = 2$ чисто непрерывный $\sigma(\mathrm{B}) = \sigma_c(\mathrm{B})$ и совпадает с лучом $\left[\frac{1}{16}, +\infty\right)$.

Доказательство. Сперва заметим, что для оператора B при $\alpha = 2$ имеет место следующее неравенство (см. доказательство Утверждения 2) $(\mathrm{B}u, u) \ge \frac{1}{16}\|u\|^2_{L_{2,-2}(1,+\infty)}$. Поскольку оператор B является положительным и само-

сопряженным, из этого неравенства заключаем, что точки $\lambda < \frac{1}{16}$ являются регулярными. Чтобы доказать принадлежность точек $\lambda \geq \frac{1}{16}$ к непрерывному спектру, достаточно показать, что количество решений уравнения $t^2(t^2u'')'' = \lambda u$ (это уравнение типа Эйлера), принадлежащих $L_{2,-2}(1,+\infty)$, меньше двух (см. [8]). Сперва заметим, что $t^\beta \in L_{2,-2}(1,+\infty)$ лишь тогда, когда $\mathrm{Re}\,\beta < \frac{1}{2}$. Характеристическое уравнение имеет следующий вид $\beta^2(\beta-1)^2 - \lambda = 0$. Легко проверяется, что только один корень $\beta = \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{1}{4} + \sqrt{\lambda}}$ удовлетворяет условию $\mathrm{Re}\,\beta = \beta < \frac{1}{2}$, из чего немедленно следует утверждение теоремы.

Доказательство закончено.

Теперь заметим, что первоначальное уравнение (1) мы можем переписать в виде

$$\mathrm{B}u = -pu + g, g(t) = t^2 f(t),$$

т.е. число $-p$ можно рассмотреть как спектральный параметр. Следовательно, мы можем утверждать, что уравнение (1) однозначно разрешимо, если $-p \in \rho(\mathrm{B})$, где $\rho(\mathrm{B})$ множество регулярных точек для оператора B.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жаров П.А.* Компактные вложения пространств функций одной переменной со степенным весом, Известия ВУЗов, Математика, №8, 1988, стр. 82-85.

2. *Кудрявцев Л.Д.* Об эквивалентных нормах в весовых пространствах, Труды МИАН СССР, т. 170, 1984, p.p. 161 - 190.

3. *Дезин А.А.* Вырождающиеся операторные уравнения, Математический сборник, т.115(157), N3(7), 1982, с.323-336.

4. *Тепоян Л.* Вырождающиеся дифференциально-операторные уравнения четвертого порядка, Дифференциальные уравнения, 1987, т.23, N8, с. 1366-1376.

5. *Burenkov V.I.*, *Sobolev*. Spaces on Domains, Teubner, 1999.

6. *Дезин А.А.* Общие вопросы теории граничных задач, Москва, Наука, 1980.

7. *Михлин С.Г.* Вырождающиеся эллиптические уравнения, Вестник ЛГУ, 1954, вып. 3, N 8, с. 19-48.

8. *Стефанова Л.Б.* Об одном обыкновенном дифференциальном уравнении, зависящем от параметра, Успехи матем. наук, 1959, т. 14, N 1, с. 231-235.

ՉՈՐՐՈՐԴ ԿԱՐԳԻ ՎԵՐԱՍԵՐՎՈՂ ՍՈՎՈՐԱԿԱՆ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐ ԱՆՎԵՐՋ ՄԻՋԱԿԱՅՔԵՐՈՒՄ

Լ. Տեփոյան, Հ. Անսարի

Աշխատանքում դիտարկվում է հետևյալ հավասարումը

$$Lu \equiv (t^{\alpha} u'')'' + pt^{-2} u = f, \qquad (1)$$

որտեղ $t \in (1, +\infty), \alpha \geq 2, p = const, f \in L_{2,2}(1, +\infty)$: Հետազոտվում է (1) հավասարման ընդհանրացված լուծման գոյության և միակության հարցը, ինչպես նաև տրվում են համապատասխան օպերատորի որոշման տիրույթի և սպեկտրի նկարագրերը:

DEGENERATE ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS OF FOURTH ORDER IN INFINITE INTERVAL

L. Tepoyan, H. Ansari

In the paper we consider the following equation

$$Lu \equiv (t^{\alpha} u'')'' + pt^{-2} u = f, \qquad (1)$$

where $t \in (1, +\infty), \alpha \geq 2, p = const, f \in L_{2,2}(1, +\infty)$. We investigate the uniqueness and existence of the generalized solution for the equation (1), as well as describe the domain of definition and the spectrum of the corresponding operator.

УДК 519.17

О ЧИСЛЕ ЦВЕТОВ В ЦИКЛИЧЕСКИ НЕПРЕРЫВНЫХ РЕБЕРНЫХ РАСКРАСКАХ ПРОСТЫХ ЦИКЛОВ

Р.Р. Камалян

Иджеванский филиал Ереванского Государственного Университета

Для любого простого цикла C_n $(n \geq 3)$ найдены все возможные значения t, при которых существует такая правильная раскраска ребер C_n цветами $1, 2, ..., t$, которая каждый цвет использует хотя бы для одного ребра, и для любой пары смежных ребер употребляет либо соседние, либо первый и последний цвета.
Ключевые слова: циклически непрерывная, реберная, раскраска.

1. Обозначения, определения, цель работы

Множество вершин и множесто ребер неориентированного конечного графа G без кратных ребер и петель обозначаем, соответственно, через $V(G)$ и $E(G)$. Через $d_G(x)$ обозначаем степень вершины $x \in V(G)$ в графе G. Функция $\varphi: E(G) \to \{1, 2, ..., t\}$ называется правильной реберной t-раскраской графа G, если цвета любых двух смежных ребер различны и для $\forall i$, $1 \leq i \leq t$, существует хотя бы одно ребро цвета i. Если $t \in \mathbb{N}$, φ − правильная реберная t-раскраска графа G, а G_0 − подграф графа G, то через $\varphi\left[G_0\right]$ будем обозначать множество цветов, используемых при раскраске φ для ребер подграфа G_0. Множество цветов, используемых (не используемых) при правильной реберной t-раскраске φ графа G для ребер, смежных вершине $x \in V(G)$, обозначаем через $S_G(x, \varphi)$ $\left(\overline{S}_G(x, \varphi)\right)$.

Для непустого конечного подмножества D множества $\mathbb{N}$ натуральных чисел через $l(D)$ и $L(D)$ обозначаем, соответственно, его наименьший и наибольший элемент. Непустое конечное подмножество D множества $\mathbb{N}$ называется интервалом, если из $l(D) \leq t \leq L(D)$, $t \in \mathbb{N}$ вытекает $t \in D$. Интервал D называется h-интервалом, если $|D| = h$. Интервал D с $l(D) = q$, $|D| = h$ обозначаем

через $Int(q,h)$. Для $\forall k \in \mathbb{N}$ положим $\varepsilon(k) = 1 + \left\lfloor \frac{k}{2} \right\rfloor - \left\lceil \frac{k}{2} \right\rceil$. Для любых натуральных q, h и $j \in \{0,1\}$ положим $Int_{(j)}(q,h) = \{m \in Int(q,h) / \ \varepsilon(m) = 1 - j\}$. Правильную реберную t-раскраску φ графа G назовем интервальной [1] t-раскраской, если для $\forall x \in V(G)$ $S_G(x,\varphi)$ является $d_G(x)$-интервалом. Правильную реберную t-раскраску φ графа G назовем циклически непрерывной t-раскраской, если для $\forall x \in V(G)$ верно хотя бы одно из двух условий:

а) $S_G(x,\varphi)$ является $d_G(x)$-интервалом,

б) $\overline{S}_G(x,\varphi)$ является $\left(t - d_G(x)\right)$-интервалом.

Для $\forall t \in \mathbb{N}$ через $\mathfrak{N}_t$ обозначим множество графов, для которых существует циклически непрерывная t-раскраска.

Некоторые результаты по циклически непрерывным раскраскам графов установлены в [2-4].

Через $\Theta(G)$ $\left(\theta(G)\right)$ обозначаем множество всех t, для которых существует циклически непрерывная (интервальная) t-раскраска графа G. Цель работы состоит в нахождении множества $\Theta(C_n)$ для $\forall n \in \mathbb{N}$, $n \geq 3$.

2. Результат

Утверждение 1. Для $\forall n \in \mathbb{N}$, $n \geq 3$ C_n имеет циклически непрерывную n-раскраску; $\Theta(C_3) = \{3\}$, $\Theta(C_4) = \{2,3,4\}$.

Доказательство очевидно.

Теорема 1. Для $\forall n \in \mathbb{N},\ n \geq 5$ и $t \in Int\left(3 - \varepsilon(n), n + \varepsilon(n) - 2\right)$ $C_n \notin \mathfrak{N}_t$ тогда и только тогда, когда

$$t \in Int_{(\varepsilon(n))}\left(4 + \varepsilon(n) \cdot \left(\frac{n}{2} + \varepsilon\left(\left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor\right) - 2\right), n - 4 + \varepsilon(n) \cdot \left(2 - \frac{n}{2} - \varepsilon\left(\left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor\right)\right)\right).$$

Доказательство. Сначала докажем, что для $\forall n \in \mathbb{N},\ n \geq 5$ из $t \in Int_{(\varepsilon(n))}\left(4 + \varepsilon(n) \cdot \left(\frac{n}{2} + \varepsilon\left(\left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor\right) - 2\right), n - 4 + \varepsilon(n) \cdot \left(2 - \frac{n}{2} - \varepsilon\left(\left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor\right)\right)\right)$ вытекает, что $C_n \notin \mathfrak{N}_t$.

Допустим противное. Тогда существуют $n_0 \in \mathbb{N},\ n_0 \geq 5$ и $t_0 \in Int_{(\varepsilon(n_0))}\left(4 + \varepsilon(n_0) \cdot \left(\frac{n_0}{2} + \varepsilon\left(\left\lfloor \frac{n_0}{2} \right\rfloor\right) - 2\right), n_0 - 4 + \varepsilon(n_0) \cdot \left(2 - \frac{n_0}{2} - \varepsilon\left(\left\lfloor \frac{n_0}{2} \right\rfloor\right)\right)\right)$, для которых существует циклически непрерывная t_0-раскраска α графа C_{n_0}.

Пусть H_{00} есть подграф графа C_{n_0}, образующийся из него удалением всех тех ребер, которые при раскраске α окрашены в цвета из множества $Int(1,t_0)\setminus\{1,t_0\}$. Пусть H_0 есть подграф графа H_{00}, образующийся из H_{00} удалением всех его изолированных вершин.

Случай A. H_0 – связный граф.

Случай A.1. n_0 – нечетное число.

Ясно, что $t_0 \in Int_{(0)}(4, n_0 - 4)$, то есть t_0 – четное число, удовлетворяющее неравенству $4 \le t_0 \le n_0 - 1$.

Случай A.1.1. $|E(H_0)|$ – нечетное число.

Очевидно, $|E(H_0)| \ge 3$. Ясно, что существует интервальная $(t_0 - 1)$-раскраска β' графа $P_{n_0+3-|E(H_0)|}$, при которой его висячие ребра e' и e'' удовлетворяют условию $\beta'(e') = \beta'(e'')$. Но тогда число $n_0 + 2 - |E(H_0)| = \left|E\left(P_{n_0+3-|E(H_0)|}\right)\right|$ является нечетным, что противоречит нечетности n_0 и $|E(H_0)|$.

Случай A.1.2. $|E(H_0)|$ – четное число.

Очевидно, $|E(H_0)| \ge 2$. Ясно, что существует интервальная t_0- раскраска β'' графа $P_{n_0+3-|E(H_0)|}$, при которой его висячие ребра e' и e'' удовлетворяют условию $\beta''(e') = 1,\ \beta''(e'') = t_0$. Но тогда из четности t_0 вытекает, что число $n_0 + 2 - |E(H_0)| = \left|E\left(P_{n_0+3-|E(H_0)|}\right)\right|$ является четным, что противоречит тому, что n_0 и $|E(H_0)|$ имеют различную четность.

Случай A.2. n_0 – четное число.

Ясно, что $t_0 \in Int_{(1)}\left(\frac{n_0}{2} + 2 + \varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right), \frac{n_0}{2} - 2 - \varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)\right)$, то есть t_0 – нечетное число, удовлетворяющее неравенству $\frac{n_0}{2} + 2 + \varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right) \le t_0 \le n_0 - 1$.

Случай A.2.1. $|E(H_0)|$ – нечетное число.

Очевидно, $|E(H_0)| \ge 3$. Ясно, что существует интервальная $(t_0 - 1)$- раскраска $\tilde{\beta}$ графа $P_{n_0+3-|E(H_0)|}$, при которой его висячие ребра e' и e'' удовлетворяют условию $\tilde{\beta}(e') = \tilde{\beta}(e'')$. Следовательно, $n_0 > n_0 + 2 - |E(H_0)| = \left|E\left(P_{n_0+3-|E(H_0)|}\right)\right| \ge$ $\ge 2t_0 - 3 \ge n_0 + 1 + 2\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right) > n_0$, что невозможно.

Случай A.2.2. $\left|E\left(H_0\right)\right|$ – четное число.

Очевидно, $\left|E\left(H_0\right)\right| \geq 2$. Ясно, что существует интервальная t_0 - раскраска $\tilde{\tilde{\beta}}$ графа $P_{n_0+3-|E(H_0)|}$, при которой его висячие ребра e' и e'' удовлетворяют условию $\tilde{\tilde{\beta}}(e') = 1,\ \tilde{\tilde{\beta}}(e'') = t_0$. Но тогда из нечетности t_0 вытекает, что число $n_0 + 2 - \left|E\left(H_0\right)\right| = \left|E\left(P_{n_0+3-|E(H_0)|}\right)\right|$ является нечетным, что противоречит четности n_0 и $\left|E\left(H_0\right)\right|$.

Случай B. H_0 – граф с m компонентами связности, $m \geq 2$.

Пусть при некотором фиксированном направлении обхода цикла C_{n_0} последовательно перенумерованы все компоненты связности графа H_0: H_1, $H_2,\ldots,\ H_m$. Будем считать, что при этом же направлении обхода цикла C_{n_0} последовательно перенумерованы все его вершины: $v_1, v_2, \ldots, v_{n_0}$, причем так, что выполнены условия $v_1 \in V\left(H_1\right), v_2 \in V\left(H_1\right), v_{n_0} \notin V\left(H_1\right)$. Также будем считать, что при этом же направлении обхода цикла C_{n_0} последовательно перенумерованы все его ребра: $e_1, e_2, \ldots, e_{n_0}$, причем так, что $e_1 = \left(v_1, v_2\right)$. Определим функции $\zeta : Int\left(1, m\right) \to Int\left(1, n_0 - 1\right)$, $\eta : Int\left(1, m\right) \to Int\left(1, n_0 - 1\right)$, $y : Int\left(1, 2m\right) \to \left\{0, 1\right\}$ следующим образом.

Для $i = 1, \ldots, m$ и для $j = 1, \ldots, 2m$ положим:

$$\zeta(i) \equiv \min\left\{k \,\middle|\, e_k \in E\left(H_i\right)\right\},\ \eta(i) \equiv \max\left\{k \,\middle|\, e_k \in E\left(H_i\right)\right\},$$

$$y(j) \equiv \begin{cases} \operatorname{sgn}\left(\alpha\left(e_{\zeta\left(\frac{j+1}{2}\right)}\right) - 1\right), & \text{если } j \text{ нечетно,} \\ \operatorname{sgn}\left(\alpha\left(e_{\eta\left(\frac{j}{2}\right)}\right) - 1\right), & \text{если } j \text{ четно.} \end{cases}$$

Определим подграфы $H_1', H_2', \ldots, H_m'$ графа C_{n_0} следующим образом: для $i \in Int\left(1, m-1\right)$ H_i' есть подграф графа C_{n_0}, порожденный подмножеством $\left\{v_{\eta(i)}, v_{\eta(i)+1}, \ldots, v_{\varsigma(i+1)}, v_{\varsigma(i+1)+1}\right\}$ его вершин; H_m' есть подграф графа C_{n_0}, порожденный подмножеством $\left\{v_{\eta(m)}, v_{\eta(m)+1}, \ldots, v_{n_0}, v_1, v_2\right\}$ его вершин.

Пусть $M_1 \equiv \left\{i \in Int\left(1, m\right) \,\middle|\, 1 \in \alpha[H_i']\right\}$, $M_2 \equiv \left\{i \in Int\left(1, m\right) \,\middle|\, t_0 \in \alpha[H_i']\right\}$.

Для $j = 1, \ldots, 2m$ определим точки π_j двумерной прямоугольной системы координат, положив $\pi_j \equiv \left(j, y(j)\right)$.

Введем граф $\tilde{H}$: $V(\tilde{H}) \equiv \{\pi_j \mid j \in Int(1,2m)\}$; $E(\tilde{H}) \equiv \{(\pi_{2m},\pi_1)\} \cup \cup \{(\pi_j,\pi_{j+1}) \mid j \in Int(1,2m-1)\}$. Ясно, что $\tilde{H} \cong C_{2m}$.

Пусть $E_1(\tilde{H}) \equiv \{(\pi_{2q-1},\pi_{2q}) \mid q \in Int(1,m)\}$, $E_2(\tilde{H}) \equiv E(\tilde{H}) \setminus E_1(\tilde{H})$.

Ребро $e \in E(\tilde{H})$, где $e = (\pi',\pi'')$, назовем горизонтальным ребром графа $\tilde{H}$, если ординаты точек π' и π'' равны. Множество горизонтальных ребер графа $\tilde{H}$ обозначим через $E_{-}(\tilde{H})$, и пусть $E_{|}(\tilde{H}) \equiv E(\tilde{H}) \setminus E_{-}(\tilde{H})$. Легко видеть, что $\left|E_{-}(\tilde{H})\right|$ и $\left|E_{|}(\tilde{H})\right|$ являются четными числами.

Определим функцию $\psi : E(\tilde{H}) \to Int(1,n_0-1)$ следующим образом:

$$\psi(e) = \begin{cases} \left|E(H_{q_0})\right|, \text{ если } e = (\pi_{2q_0-1},\pi_{2q_0}), \text{ где } q_0 \in Int(1,m), \\ \left|E(H'_{q_0})\right|, \text{ если } e = (\pi_{2q_0},\pi_{2q_0+1}), \text{ где } q_0 \in Int(1,m-1), \\ \left|E(H'_m)\right|, \text{ если } e = (\pi_{2m},\pi_1). \end{cases}$$

Случай B.1. n_0 – нечетное число.

Ясно, что $t_0 \in Int_{(0)}(4,n_0-4)$, то есть t_0 – четное число, удовлетворяющее неравенству $4 \le t_0 \le n_0 - 1$. Легко видеть, что в этом случае для $e \in E_{-}(\tilde{H})$ $\psi(e)$ – нечетное число, а для $e \in E_{|}(\tilde{H})$ $\psi(e)$ – четное число. Отсюда и из четности $\left|E_{-}(\tilde{H})\right|$ вытекает, что число $n_0 + 2m = \sum_{e \in E(\tilde{H})} \psi(e) = \sum_{e \in E_{-}(\tilde{H})} \psi(e) + \sum_{e \in E_{|}(\tilde{H})} \psi(e)$ является четным, что противоречит нечетности n_0.

Случай B.2. n_0 – четное число.

Ясно, что $t_0 \in Int_{(1)}\left(\frac{n_0}{2} + 2 + \varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right), \frac{n_0}{2} - 2 - \varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)\right)$, то есть t_0 – нечетное число, удовлетворяющее неравенству $\frac{n_0}{2} + 2 + \varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right) \le t_0 \le n_0 - 1$. Легко видеть, что в этом случае при $e \in E_2(\tilde{H}) \cup E_{-}(\tilde{H})$ $\psi(e)$ – нечетное число, а при $e \in E_1(\tilde{H}) \cap E_{|}(\tilde{H})$ $\psi(e)$ – четное число.

Случай B.2.1. $\left|E_2(\tilde{H}) \cap E_{|}(\tilde{H})\right| \ge 2$.

Ясно, что существуют $i',i'' \in Int(1,m)$, $i' \ne i''$, такие, при которых существуют интервальные t_0-раскраски β' и β'' графов $P_{|E(H'_{i'})+1|}$ и $P_{|E(H'_{i''})+1|}$, соответ-

ственно. Отсюда $\left|E\left(H'_{i'}\right)\right|=\left|E\left(P_{\left|E\left(H'_{i'}\right)\right|+1}\right)\right|\geq t_0$, $\left|E\left(H'_{i''}\right)\right|=\left|E\left(P_{\left|E\left(H'_{i''}\right)\right|+1}\right)\right|\geq t_0$ и $n_0\geq\left|E\left(H'_{i'}\right)\cup E\left(H'_{i''}\right)\right|=\left|E\left(H'_{i'}\right)\right|+\left|E\left(H'_{i''}\right)\right|-\left|E\left(H'_{i'}\right)\cap E\left(H'_{i''}\right)\right|\geq\left|E\left(H'_{i'}\right)\right|+\left|E\left(H'_{i''}\right)\right|-$ $-2\geq 2t_0-2\geq n_0+2+2\varepsilon\left(\dfrac{n_0}{2}\right)>n_0$, что невозможно.

Случай B.2.2. $\left|E_2\left(\tilde{H}\right)\cap E_|\left(\tilde{H}\right)\right|=1$.

Пусть $E_2\left(\tilde{H}\right)\cap E_|\left(\tilde{H}\right)=\left\{e^0\right\}$. Из четности $\left|E_-\left(\tilde{H}\right)\right|$ вытекает, что число $n_0+2m=\sum\limits_{e\in E\left(\tilde{H}\right)}\psi(e)=\psi\left(e^0\right)+\sum\limits_{e\in E_1\left(\tilde{H}\right)\cap E_|\left(\tilde{H}\right)}\psi(e)+\sum\limits_{e\in E_-\left(\tilde{H}\right)}\psi(e)$ является нечетным, что противоречит четности n_0.

Случай B.2.3. $\left|E_2\left(\tilde{H}\right)\cap E_|\left(\tilde{H}\right)\right|=0$.

Ясно, что для $\forall i\in Int(1,m)$ $\left|\{1,t_0\}\cap\alpha[H'_i]\right|=1$.

Случай B.2.3.a). $M_1\neq\varnothing,\ M_2=\varnothing$.

Легко видеть, что в рассматриваемом случае существует $i_1\in M_1$, при котором $(t_0-1)\in\alpha[H'_{i_1}]$, откуда вытекает, что существует интервальная (t_0-1)-раскраска γ' графа H'_{i_1}, при которой его висячие ребра e' и e'' удовлетворяют условию $\gamma'(e')=\gamma'(e'')=1$. Но тогда $n_0>\left|E\left(H'_{i_1}\right)\right|\geq 2t_0-3\geq n_0+1+2\varepsilon\left(\dfrac{n_0}{2}\right)>n_0$, что невозможно.

Случай B.2.3.b). $M_1=\varnothing,\ M_2\neq\varnothing$.

Рассматривается аналогично случаю B.2.3.a).

Случай B.2.3.c). $M_1\neq\varnothing,\ M_2\neq\varnothing$.

Выберем $i_1\in M_1$ и $i_2\in M_2$ таким образом, чтобы выполнялись соотношения $\left|\alpha[H'_{i_1}]\right|=\max\limits_{i\in M_1}\left|\alpha[H'_i]\right|$, $\left|\alpha[H'_{i_2}]\right|=\max\limits_{i\in M_2}\left|\alpha[H'_i]\right|$. Положим $j^{(1)}\equiv\max\alpha[H'_{i_1}]$, $j^{(2)}\equiv\min\alpha[H'_{i_2}]$. Ясно, что $j^{(1)}\geq j^{(2)}-1$. Очевидно, что существует интервальная $j^{(1)}$-раскраска $\tilde{\gamma}$ графа H'_{i_1}, при которой его висячие ребра $e_{(1)}$ и $e_{(2)}$ удовлетворяют условию $\tilde{\gamma}(e_{(1)})=\tilde{\gamma}(e_{(2)})=1$. Отсюда следует, что $\left|E\left(H'_{i_1}\right)\right|\geq 2j^{(1)}-1$. Очевидно также, что существует интервальная $\left(t_0-j^{(2)}+1\right)$-раскраска $\tilde{\tilde{\gamma}}$ графа H'_{i_2}, при которой его висячие ребра $e_{(3)}$ и $e_{(4)}$ удовлетворяют условию $\tilde{\tilde{\gamma}}(e_{(3)})=\tilde{\tilde{\gamma}}(e_{(4)})=1$. Поэтому $\left|E\left(H'_{i_2}\right)\right|\geq 2\left(t_0-j^{(2)}+1\right)-1=2t_0-2j^{(2)}+1$, и $n_0>\left|E\left(H'_{i_1}\right)\cup E\left(H'_{i_2}\right)\right|=$

$=\left|E\left(H'_{i_1}\right)\right|+\left|E\left(H'_{i_2}\right)\right|\geq 2t_0+2\left(j^{(1)}-j^{(2)}\right)\geq 2t_0-2\geq n_0+2+2\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)>n_0$, что невозможно.

Полученное противоречие доказывает, что для $\forall n\in\mathbb{N},\ n\geq 5$ из $t\in Int_{(\varepsilon(n))}\left(4+\varepsilon(n)\cdot\left(\frac{n}{2}+\varepsilon\left(\left\lfloor\frac{n}{2}\right\rfloor\right)-2\right),n-4+\varepsilon(n)\cdot\left(2-\frac{n}{2}-\varepsilon\left(\left\lfloor\frac{n}{2}\right\rfloor\right)\right)\right)$ вытекает, что $C_n\notin\mathfrak{N}_t$.

Теперь докажем обратное. То есть что для $\forall n\in\mathbb{N},\ n\geq 5$ и $t\in Int\left(3-\varepsilon(n),n+\varepsilon(n)-2\right)$ из $C_n\notin\mathfrak{N}_t$ следует, что

$$t\in Int_{(\varepsilon(n))}\left(4+\varepsilon(n)\cdot\left(\frac{n}{2}+\varepsilon\left(\left\lfloor\frac{n}{2}\right\rfloor\right)-2\right),n-4+\varepsilon(n)\cdot\left(2-\frac{n}{2}-\varepsilon\left(\left\lfloor\frac{n}{2}\right\rfloor\right)\right)\right).$$

Допустим противное. Тогда существуют $n_0\in\mathbb{N},\ n_0\geq 5$ и $t_0\in Int\left(3-\varepsilon(n_0),n_0+\varepsilon(n_0)-2\right)$, такие, что $C_{n_0}\notin\mathfrak{N}_{t_0}$ и

$$t_0\notin Int_{(\varepsilon(n_0))}\left(4+\varepsilon(n_0)\cdot\left(\frac{n_0}{2}+\varepsilon\left(\left\lfloor\frac{n_0}{2}\right\rfloor\right)-2\right),n_0-4+\varepsilon(n_0)\cdot\left(2-\frac{n_0}{2}-\varepsilon\left(\left\lfloor\frac{n_0}{2}\right\rfloor\right)\right)\right).$$

Случай 1. n_0 – нечетное число.

Ясно, что $t_0\in Int\left(3,n_0-2\right)$ и $t_0\notin Int_{(0)}\left(4,n_0-4\right)$. Отсюда следует, что $t_0\in Int_{(1)}\left(3,n_0-2\right)$, и поэтому $\exists m_0\in\mathbb{N},\ 2\leq m_0\leq\frac{n_0+1}{2}$, такое, что $t_0=2m_0-1$. Из утверждения 1 и из $C_{n_0}\notin\mathfrak{N}_{t_0}$ вытекает, что $m_0\neq\frac{n_0+1}{2}$. Легко видеть, что из существования интервальной t_0-раскраски φ' графа P_{2m_0} и из существования интервальной 2-раскраски φ'' графа $P_{n_0+2-2m_0}$ вытекает, что существует циклически непрерывная t_0-раскраска φ''' графа C_{n_0}, что противоречит допущению.

Случай 2. n_0 – четное число.

Ясно, что $t_0\in Int\left(2,n_0-1\right)$ и $t_0\notin Int_{(1)}\left(\frac{n_0}{2}+2+\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right),\frac{n_0}{2}-2-\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)\right)$.

Тогда, как нетрудно убедиться,

$$t_0\in Int\left(2,\frac{n_0}{2}\right)\bigcup Int_{(0)}\left(\frac{n_0}{2}+2+\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)+(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)},\frac{n_0}{2}-\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)-1-(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)}\right).$$

Случай 2.1. $t_0\in Int\left(2,\frac{n_0}{2}\right)$.

Так как $\theta\left(C_{n_0}\right)=Int\left(2,\frac{n_0}{2}\right)$, то $C_{n_0}\in\mathfrak{N}_{t_0}$, что противоречит допущению.

Случай 2.2.

$$t_0\in Int_{(0)}\left(\frac{n_0}{2}+2+\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)+(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)},\frac{n_0}{2}-\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)-1-(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)}\right).$$

Ясно, что $\exists m_0\in\mathbb{N},\ 1\le m_0\le\frac{1}{2}\left(\frac{n_0}{2}-\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)-(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)}\right)$, такое, что $t_0=\frac{n_0}{2}+\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)+(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)}+2m_0$. Из утверждения 1 и из $C_{n_0}\notin\mathfrak{N}_{t_0}$ вытекает, что $m_0\ne\frac{1}{2}\left(\frac{n_0}{2}-\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)-(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)}\right)$. Легко видеть, что из существования интервальной t_0-раскраски $\varphi_{(1)}$ графа $P_{1+\frac{n_0}{2}+\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)+(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)}+2m_0}$ и из существования интервальной 2-раскраски $\varphi_{(2)}$ графа $P_{1+\frac{n_0}{2}-\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)-(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n_0}{2}\right)}-2m_0}$ вытекает существование циклически непрерывной t_0-раскраски $\varphi_{(3)}$ графа C_{n_0}, что противоречит допущению.

Полученное противоречие доказывает, что для $\forall n\in\mathbb{N},\ n\ge 5$ и $t\in Int\left(3-\varepsilon(n),n+\varepsilon(n)-2\right)$ из $C_n\notin\mathfrak{N}_t$ следует, что

$$t\in Int_{(\varepsilon(n))}\left(4+\varepsilon(n)\cdot\left(\frac{n}{2}+\varepsilon\left(\left\lfloor\frac{n}{2}\right\rfloor\right)-2\right),n-4+\varepsilon(n)\cdot\left(2-\frac{n}{2}-\varepsilon\left(\left\lfloor\frac{n}{2}\right\rfloor\right)\right)\right).$$

Теорема 1 доказана.

Теорема 2. Для $\forall n\in\mathbb{N},\ n\ge 5$

$$\Theta(C_n)=\begin{cases}Int_{(1)}(3,n-2), \text{ если } n \text{ нечетное число},\\ Int\left(2,\frac{n}{2}\right)\cup Int_{(0)}\left(\frac{n}{2}+2+\varepsilon\left(\frac{n}{2}\right)+(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n}{2}\right)},\frac{n}{2}-\varepsilon\left(\frac{n}{2}\right)-1-(-1)^{\varepsilon\left(\frac{n}{2}\right)}\right),\\ \qquad \text{если } n \text{ четное число}.\end{cases}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Asratian A.S., Kamalian R.R.* Interval colorings of edges of a multigraph // Appl. Math., 5 (1987), Yerevan State University, pp. 25-34.
2. *Kotzig A.* 1-Factorizations of cartesian products of regular graphs // J. Graph Theory, 3 (1979), pp. 23-34.
3. *D. de Werra, Solot P.H.* Compact cylindrical chromatic scheduling // SIAM J. Disc. Math. 4 (1991), pp. 527–534.
4. *Kamalian R.R.* On cyclically continuous edge colorings of trees // Math. Problems of Computer Science, Vol. 29 (2007), Yerevan, pp. 16-20.

ՊԱՐԶ ՑԻԿԼԵՐԻ ՑԻԿԼԻԿ ԱՆԸՆԴՀԱՏ ԿՈՂԱՅԻՆ ՆԵՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԳՈՒՅՆԵՐԻ ԹՎԻ ՄԱՍԻՆ

Ռ.Ռ. Քամալյան

Կամայական C_n $(n \geq 3)$ պարզ ցիկլի համար գտնված են t-ի բոլոր հնարավոր արժեքները, որոնց դեպքում գոյություն ունի C_n-ի կողերի այնպիսի ճիշտ ներկում $1, 2, ..., t$ գույներով, որը յուրաքանչյուր գույնն օգտագործում է գոնե մեկ կողի համար և կամայական զագաթին կից կողերի համար օգտագործում է կամ հաջորդական գույներ կամ էլ 1-ն ու t-ն:

ON A NUMBER OF COLORS IN CYCLICALLY CONTINUOUS EDGE COLORINGS OF SIMPLE CYCLES

R.R. Kamalian

For any simple cycle C_n $(n \geq 3)$ all possible values of t are found, for which there exists such a proper coloring of edges of C_n with colors $1, 2, ..., t$, which, using each color at least for one edge, colors every pair of adjacent edges either with neighbour colors or with first and last ones.

ALGORITHM FOR REDUCTION OF ELEMENT CALCULUS TO ELEMENT ALGEBRA

M. Manukyan, V. Harutunyan

Introduction

The XML databases currently attract definite interest among researchers of databases for the following reasons:

1. DTD is a compromise between the strict-schema models such as the relational or object models and the completely schemaless world of semi-structured data,
2. In contrast to semi-structured data model, the concept of database schema in the sense of conventional data models is supported,
3. In contrast to conventional data models strict-schemas, there is possibility to define more flexible database schemas (DTD's often allow optional fields or missing fields, for instance) [4].

It is common in database theory to translate a query language into an algebra. The XML algebra is used to:

1. Define semantics of a query language,
2. Analyze power of its expressions,
3. Perform optimization of queries.

There are many approaches in literature to solve the query problem over XML DB [for example, 1,3,5,8,9]. In this paper we consider an algorithm for reduction of element calculus [6] to element algebra [7].

Preliminaries

Element Calculus: Element calculus formulas (simply formulas) are used to give assertions (e.g., consistency constraints of xdm-database), to support virtual elements and triggers, to express declarative queries to xdm-database. To specify formulas a variant of the multisorted first order predicate logic language is used. Notice that element calculus is developed in the style of object calculus. If e is a path expression then (e) is the result of this path expression converted to multiset.

The atoms are defined according to the following rules:

– $(e)(x_1, x_2, ..., x_k)$ is an atom, where $\forall i \in [1,k]$ x_i is element calculus variable.

– $y_1 \theta y_2$, where y_1, y_2 are terms, $\theta \in \{=, \neq, >, \geq, <, \leq\}$.

Assuming that ψ, ψ_1 and ψ_2 are formulas, the following expressions will be formulas:

– $\neg \psi, \psi_1 \wedge \psi_2, \psi_1 \vee \psi_2, \psi_1 \rightarrow \psi_2, \exists x(\psi), \forall x(\psi), (\psi)$

– $x := e, (groupBy(x_1, x_2, ..., x_k, \psi))(x), distinct(\psi)$

– $orderBy(x_1\ ord, x_2\ ord, ..., x_k\ ord, \psi), \psi\ with\, identificationList$

Algebraic Model: To directly apply the standard algebraic operations to xdm-elements we need:

– formalize the xdm-element in compliance with the theory of relational databases,

– define the inference rules of the resulting schemas of algebraic expressions,

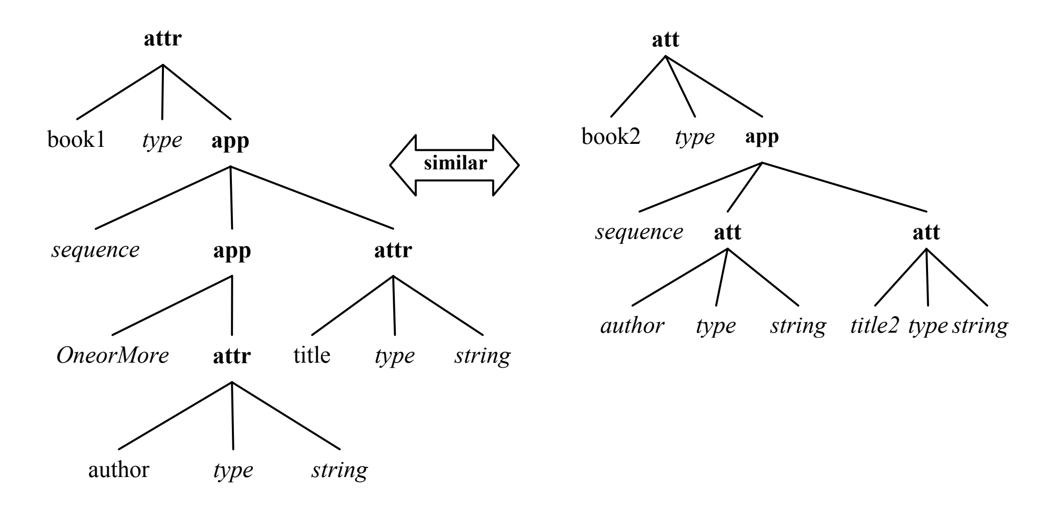
– prove equivalence of element calculus to element algebra.

Definition 1: We say that S is an xdm-element schema, if $S = \langle name, atomictype, f \rangle$, where $f \in \{?, *, +, \perp\}$, or $S = \langle name, typeOp(S_1, S_2, ..., S_n), f \rangle$, $typeOp \in \{sequence, choice, all\}$ and S_i is an xdm-element schema, $1 \leq i \leq n$.

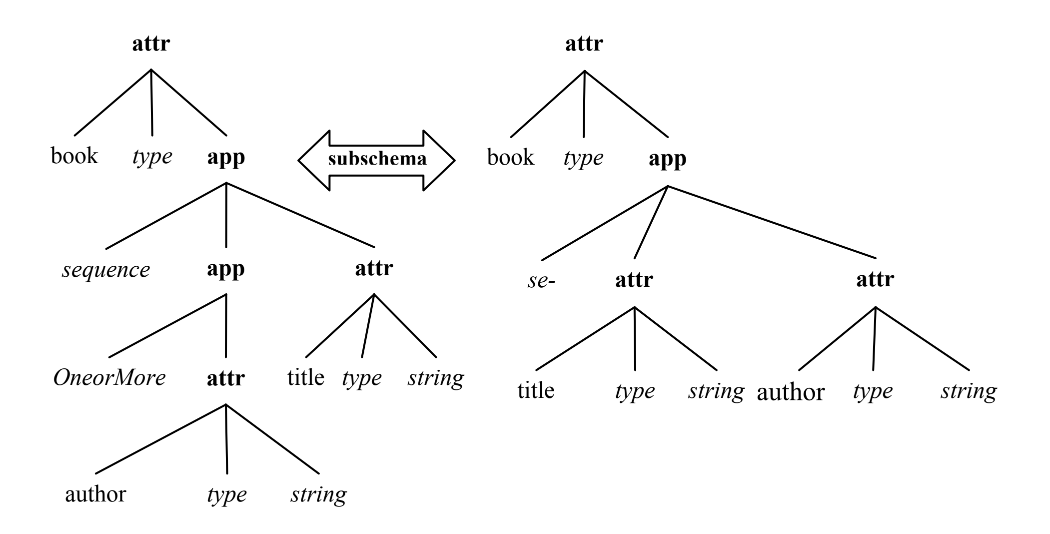
Definition 2: The xdm-element s of schema S is a finite collection of mappings $S \rightarrow domain(firstComp(S)) \times domain(\sec ondComp(S))$;
if $\sec ondComp(S) = typeOp(S_1, S_2, ..., S_n)$ then the following constraint should be hold for all $e \in s : e[S_i] \in domain(S_i), 1 \leq i \leq n$.

The $firstComp, \sec ondComp, domain$ functions have an obvious semantics in the previous definition. Notice that
$domain(\sec ondComp(S)) = (if\ \sec ondComp(S) = atomictype\ then$
$valSet(atomictype)\ else \bigcup_{i=1}^{n} domain(S_i))$.

Definition 3: Let R and Q be xdm-elements schemas. We say that R and Q are similar, if $\sec ondComp(R) = atomictype1, \sec ondComp(Q) = atomictype2$, and $atomictype1 = atomictype2$, or $\sec ondComp(R) = typeOp(R_1, R_2, ..., R_n)$, $\sec ondComp(Q) = typeOp(Q_1, Q_2, ..., Q_n)$, and R_i, Q_i are similar, $1 \leq i \leq n$.



Definition 4: Let R and Q be xdm-elements schemas. We say that R is sub-schema of Q $(R \subseteq Q)$, if $firstComp(R) = name1, secondComp(R) = atomictype1, firstComp(Q) = name2,$ $secondComp(Q) = atomictype2$, and $name1 = name2, atomictype1 = atomictype2$, or $firstComp(R) = name1, secondComp(R) = typeOp(R_1, R_2, ..., R_k), firstComp(Q) = name2,$ $secondComp(Q) = typeOp(Q_1, Q_2, ..., Q_m)$, and $name1 = name2$, and $\forall i \in [1,k]\ \exists j \in [1,m]$ that $R_i \subseteq Q_j$.



Definition 5: Let r and q be xdm-elements with R and Q similar schemas correspondingly. Let us say that r and q are equal, if $\sec ondComp(R) = \sec ondComp(Q) = atomictype$, and $content(r) = content(q)$, or $\sec ondComp(R) = typeOp(R_1, R_2, ..., R_n)$, $\sec ondComp(Q) = typeOp(Q_1, Q_2, ..., Q_n)$:

a) $typeOp = sequance, \forall i \in [1,n]\, firstComp(R_i) = firstComp(Q_i)$, and r_i and q_i are equal xdm-elements with similar schemas R_i and Q_i correspondingly,

b) $typeOp = all, \forall i \in [1,n]\, \exists j \in [1,n]\, firstComp(R_i) = firstComp(Q_j)$, and r_i and q_j are equal xdm-elements with similar schemas R_i and Q_j correspondingly,

c) $typeOp = choice$, there is a unique $i \in [1,n]$ such that the following holds for some unique $j \in [1,n]$: $firstComp(R_i) = firstComp(Q_j)$, and r_i and q_j are equal xdm-elements with similar schemas R_i and Q_j correspondingly.

Algorithm Description

Algorithm: ECToEA (ec, ea)
Input: ec - a formula of element calculus.
Output: ea - an equivalent expression of element algebra for ec.
Method:
Step 1. Create prefix representation for ec.
Step 2. Create Element Calculus tree.
Step 3. Create Element Algebra tree.

Create the prefix representation for an expression of Element Calculus.

Element Calculus tree creation.
Algorithm: *CreateECTree* (ePrefix, ECTree)
Input: ePrefix - a prefix expression of element calculus formula.
Output: ECTree - an equivalent element calculus tree.
Step 1. [Tree creation]

(a) If current token is *and*, *or*, *implication,* then create corresponding node based on recursively created left and right subtrees.
(b) If current token is either *with*, *forall*, *exist*, *negation*, *distinct*, *groupBy* or *orderBy,* then create corresponding node and recursively create its subtree (operand (s) of operation).
(c) If current token is *predicate*, *assignment*, *xpath,* then create corresponding node and complete recursion for this subtree (operand (s) of operation).

Step 1. [Tree traversal]

(a) For each *assigment* node move to the root until a subtree which set of free variables contains the variables set of considered assignment will be found.

(b) For each *predicate* node move to the root until a subtree which set of free variables contains the variables set of considered predicate will be found.

Step 1. [Elimination of the negation nodes from element calculus tree]

For each *negation* do

For each node apply the negation operation.

For the *xpath* nodes do:

If there is a *predicate* in *xpath* then negate the *predicate,* **else** move to the root from the current leaf until the first *or* node will be reached, delete the subtree containing the considered leave, delete *or* node and link it with the other subtree of its parent.

Creation of Element Algebra tree.
Algorithm: Algebra (ECTree, EATree)
Input: ECTree - an Element Calculus tree.
Output: EATree - an Element Algebra tree.
[Tree traversal]

(a) If $(pe)(x_1, x_2, ..., x_k), (pe) = [/\,|\,//]Step_0[/\,|\,//]Step_1 ... [/\,|\,//]Step_n$ then

$Step_{i+1} = ($ **if** condition not give then $\pi_{L_i}(Step_i))$ **else if** condition is simple predicate then $\pi_{L_i}(\sigma_\rho(Step_i))$ else $\pi_{L_i}(\sigma_\rho(\gamma_{L_i}(Step_i)))$,

$i = 0,1,\ldots, n-1, Step_0 = initial\, xdm - element.$

(b) If $\omega(y_1, y_2, ..., y_m) = \omega_1(u_1, u_2, ..., u_n) \wedge \omega_2(v_1, v_2, ..., v_l)$ then

1. If $\{u_1, u_2, ..., u_n\} \cap \{v_1, v_2, ..., v_l\} = \varnothing$ then
$A\lg ebra(\omega_1(u_1, u_2, ..., u_n)) \times A\lg ebra(\omega_2(v_1, v_2, ..., v_l))$
2. If $\{u_1, u_2, ..., u_n\} = \{v_1, v_2, ..., v_l\}$ then
$A\lg ebra(\omega_1(u_1, u_2, ..., u_n)) \cap A\lg ebra(\omega_2(v_1, v_2, ..., v_l))$
3. If $\{u_1, u_2, ..., u_n\} \not\subset \{v_1, v_2, ..., v_l \bowtie\}, \{v_1, v_2, ..., v_l\} \not\subset \{u_1, u_2, ..., u_n\}$ *and* $\{u_1, u_2, ..., u_n\} \cap \{v_1, v_2, ..., v_l\} = \varnothing$ then
$A\lg ebra(\omega_1(u_1, u_2, ..., u_n)) \quad A\lg ebra(\omega_2(v_1, v_2, ..., v_l))$
4. If $\{u_1, u_2, ..., u_n\} \not\subset \{v_1, v_2, ..., v_l \ltimes\}$ then
$A\lg ebra(\omega_1(u_1, u_2, ..., u_n)) \quad A\lg ebra(\omega_2(v_1, v_2, ..., v_l))$
5. If $\{v_1, v_2, ..., v_l\} \not\subset \{u_1, u_2, ..., u_n \ltimes\}$ then
$A\lg ebra(\omega_2(v_1, v_2, ..., v_l)) \quad A\lg ebra(\omega_1(u_1, u_2, ..., u_n))$

(c) If $\omega(y_1, y_2, ..., y_m) = \omega_1(u_1, u_2, ..., u_n) \vee \omega_2(v_1, v_2, ..., v_l)$ then
$\pi_{y_1, y_2, ..., y_m}(A\lg ebra(\omega_1(u_1, u_2, ..., u_n))) \cup \pi_{y_1, y_2, ..., y_m}(A\lg ebra(\omega_2(v_1, v_2, ..., v_l)))$

(d) If $\omega(y_1, y_2, ..., y_m) = (\exists y_{m+1})\omega(y_1, y_2, ..., y_m, y_{m+1})$ then
$\pi_{y_1, y_2, ..., y_m}(A\lg ebra(\omega(y_1, y_2, ..., y_m, y_{m+1})))$

(e) If $\omega(y_1, y_2, ..., y_m) = (\forall y_{m+1})\omega(y_1, y_2, ..., y_m, y_{m+1})$ then

$A\lg ebra(\omega(y_1, y_2, ..., y_m, y_{m+1})) \div \pi_{y_{m+1}}(A\lg ebra(\omega(y_1, y_2, ..., y_m, y_{m+1})))$

(f) If $groupBy(y_1, y_2, ..., y_m, \omega(y_1, y_2, ..., y_m, u_1, u_2, ..., u_n))(x)$ then $\gamma_{x_1, x_2, ..., x_k}(A\lg ebra(\omega(y_1, y_2, ..., y_m, u_1, u_2, ..., u_n)))$

(g) If $orderBy(y_{i_1}\ order, y_{i_2}\ order, ..., y_{i_l}\ order, \omega(y_1, y_2, ..., y_m))$ then $\tau_{y_{i_1}, y_{i_2}, ..., y_{i_l}}(A\lg ebra(\omega(y_1, y_2, ..., y_m)))$

(h) If $distinct(\omega(y_1, y_2, ..., y_m))$ then $\delta(A\lg ebra(\omega(y_1, y_2, ..., y_m)))$

(i) If *identificationList* then ρ

(j) If *predicate* then $\sigma_{predicate}$

(k) If *assignment* then $\pi_{assignmentAttributes}$

Algorithm Correctness

The correctness of the suggested algorithm is proved in the same way as correctness of Codd's algorithm [2] for reduction the relation calculus to relational algebra as: $\neg Op(\psi) = Op(\neg \psi), Op \in \{with, distinct, groupBy, orderBy, assignment\}$.

REFERENCES

1. *Beech D., Malhotra A. & Rys M.* (eds.) A formal data model and algebra for XML. Communication W3C, pp. 1-26, 1999.

2. *Codd E.F.* Relational Completeness of Data Base Sublanguages, Data Base Systems, R. Rustin (ed.), Prentice Hall, 65-98, 1972.

3. *Frasincar F., Geert-Jan Houben, Pau C.* XAL: an Algebra for XML Query Optimization. In Proc. of 13th Australasian Database Conference, pp. 49-56, 2002.

4. *Garcia-Molina H., Ullman J., Widom J.* Database Systems: The Complete Book, Prentice Hall, 2002.

5. *Jagadish H.V., et. al.* TAX: A Tree Algebra for XML, In Proc. DBLP Conference Italy, pp. 149-164, 2001.

6. *Manukyan M.G.*. Extensible Data Model, In Proc. of ADBIS'08 Conference, pp. 42-57, 2008.

7. *Manukyan M.G.* Element Algebra. In Proc. of ADBIS'09, LNCS 5968, Springer, pp. 113-120, 2009..

8. *Shanmugasundaram J., Tufte K., He G., Zhang C., DeWitt D., and Naughton J.* Relational Databases for Quering XML Documents: Limitations and Opportunities. In Proc. of VLDB Conference, pp. 47-52, 2000.

9. *Viglas S.D., et. al.* Putting XML Query Algebras into Context, 2002, http://www.cs.wisc.edu/niagara/Publications.html.

10. *Zhang M., Yao J.T.* XML Algebra for Data Mining, In Proc. of SPIE'04, pp. 209-217, 2004.

УДК 004.031.42

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ ТЕСТОВЫЕ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

И.К. Егиян

Российско-Армянский (Славянский) Университет

В работе рассматривается актуальность создания тестовых систем нового поколения для университетов. Сегодняшние общераспространенные тестовые системы функционирующие в ряде университетов, созданы лишь для работы под операционной системой Windows, подвержены атакам вирусов, требуют специализированных редакторов для преподавателей, создающих тесты. Эти и другие причины стимулируют поиск новых архитектурных решений для создания подобных систем.

1. Традиционные системы

Архитектура традиционных тестовых систем

Потребность в тестовых системах возникла в 2005-ых годах XXI в при переходе на Болонскую систему преподавания в странах СНГ. В частности, оценивание студента по 100-бальной системе требует его экзаменации посредством компьютера. Компьютер позволяет за ограниченное время задать большое количество вопросов, моментально оценить их и выдать студенту данные на экран. Именно большое количество тестовых вопросов за один сеанс гаранитирует объективную оценку в при 100-бальной системе. Тем не менее, сегодня многие экзамены проводятся «вручную», в силу чего становится не понятно, чем оценка 50 отличается от 49. Анализ подобных систем, распространенных в вузах СНГ, и опыт построения и эксплуатации своих собственных, позволил выявить основные недостатки имеющихся систем. Основные технологии для создания тестовых систем сегодня являются языки PHP, JAVA, Visual Basic, HTML, XML. Сами тесты накапливаются в базах данных, созданными системами типа Access, MySQL, SQL Server и т.д.. Тестовые системы состоят из трех подсистем. Первая подсистема (test editor) представляет из себя специализированный тестовый редактор для преподавателей, создающих тесты. Преподаватели могут работать как у себя дома, так и в вузе, и, как правило, в среде Windows. Вторая подсисте-

ма (test run system) – это сервер, обслуживающий тестируемых клиентов-студентов. Третья подсистема – это программа-клиент, обслуживающая студента на рабочем месте и реализующая соединение с сервером. Серверная и клиентская части также представляют из себя специализированные программы, которые реализованы вышеуказанной технологией, в силу чего они также функционируют на традиционных компьютерах в среде Windows. Ниже анализируются недостатки традиционных систем.

Зависимость от платформы

Выше мы отметили, что технологии создания таких систем приводят к тому, что редактор тестов, клиентская и серверная часть функционируют в среде Windows на традиционных компьютерах класса Pentium и выше. Это ситуация не соответствует рынку, на котором, кроме Windows, существуют операционные системы Linux, Unix, Solaris и другие. На этом же рынке кроме компьютеров типа Pentium существуют компьютеры фирм Apple, Sun и другие. В связи с этим целесообразно создание кода тестовой системы на чистом стандарте языка C++ (ANSI), что и предлагается в данной работе. Мобильность и независимость языка программирования от платформы (аппаратное обеспечение и операционная система) обеспечивает независимось и всей тестовой системы. Единственный процесс, который необходим при переходе на другую платформу - это перекомпиляция программного продукта. Как будет отмечено ниже, написание программного продукта с использованием лишь одного инструмента (C++) облегчает сопровождение данной программы.

Уязвимость со стороны вирусов

Поскольку традиционные тестовые системы представляют из себя обычные программы, работающие на универсальных персональных компьютерах, их вирусозащищенность не выше любой прикладной программы. Легко заметить, что одной вирусной атаки на сервер достаточно, чтобы сорвать целую экзаменационную сессию. Последствия такой атаки довольно тяжелые. Следовательно, требования к разработке сервера должны быть не традиционными.

Низкая надежность

К вышеизложенному следует добавить следующее. Традиционные серверы состоят из таких ключевых механических блоков в качестве накопителей на жестких дисках (винчестерах). Известно, что механические блоки ухудшают надежность системы. Следовательно, нетрадиционные серверы не должны иметь механические блоки.

Трудность сопровождения

Системы, реализованные с помощью языков PHP, JAVA или Visual Basic, громоздки и занимают много страниц текста. При реализации традиционных систем используются библиотеки данных языков, работающие с HTML и XML кодами, что увеличивает трудность освоения и сопровождения этих систем. Как

было отмечено выше, тестовые системы сегодня состоят из трех частей: редактора тестов, программы-клиента и программы-серверы. Предлагается архитектурный подход, исключающий первые две части, а программа - сервер реализуется языком ANSI C++ с использованием лишь его традиционных библиотек. В итоге получается компактный код, легкий для сопровождения.

Подверженность к частым изменениям тестовой базы данных

В университетах большой обьем занимают фундаментальные дисциплины, методики преподавания которых практически не меняются. В частности, такие предметы как математический анализ, линейная алгебра, дискретная математика, формальные грамматики. Открытость систем и баз данных позволяет некоторым методистам своевольно менять тесты, не имея на то никаких объективных причин. Такое положение нарушает стабильность процесса преподавания.

Трудности, связанные с освоением специализированного редактора тестов

Так как традиционные тестовые системы поставляются со специализированными тестовыми редакторами, совершенно не похожими на широко используемые текстовые редакторы типа Word, Word Pad, Notebook , это приводит к большим временным затратам на их освоение со стороны методистов.

2. Системы нового поколения

Предлагаемые системы нового поколения состоят как из аппаратной, так и из программной части. Программная часть представляет из себя автономную ценность, будучи откомпилированной на обычном универсальном компьютере, мы получим полновесную тестовую систему. Программное обеспечение предлагаемых систем нового поколения подробно описаны в работах [1-2]. Вкратце отметим свойства новых систем и покажем, как они устраняют недостатки традиционных систем. Системы нового поколения должны строится на базе вложенных систем (embedded systems). Вложенные системы представляют из себя платы на базе процессоров фирмы Intel. Понятие «вложенная система» широко используется в сети Интернет. Вложенные системы – это миниатюрные компьютеры, которые представляют из себя узкоспециали-зированные, высоконадежные серверы в сети TCP/IP[1]. Потребность в таких системах возникает тогда, когда появляется необходимость в предоставлении пользователям специализированной информации. Причем такая информация должна предоставляться круглосуточно высоконадежным сервером сети. Сервер считается высоконадежным, если он может работать круглосуточно без вмешательства оператора (человека), если в нем отсутствуют механические узлы, например, дисковые запоминающие устройства, и он абсолютно защищен от вирусных атак. Иллюстрирация вложенного устройства приведена на рис.1. Рисунок показывает

встроенную систему, проводяющую экзамен по алгебре в университете. На рис.1 также показана типичная архитектура вложенного TCP/IP сервера. Основными компонентами архитектуры являются Ethernet- карта, чипы постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), чипы оперативной памяти (ОП) и процессор. Интеграция с сетью реализуется через Ethernet-карту. ПЗУ делают, как правило, съемными, что позволяет модифицировать систему. Информацию о вложенных системах можно найти на сайтах [3-6]. Одна из лучших операционных систем для построения вложенных систем является RTOS [5-6]. При программировании таких систем обычно используется язык программирования C++.

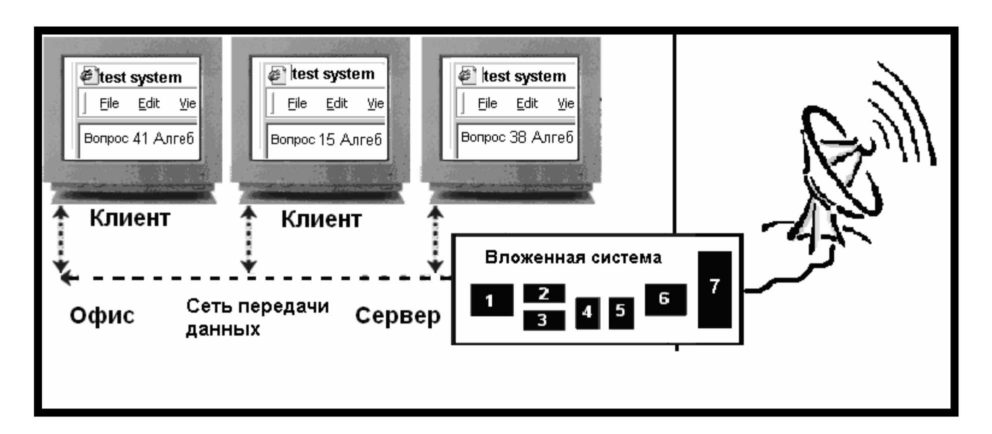


Рис.1. Вложенная система для проведения экзамена по алгебре. Система является объектом сети и имеет свой собственный IP-адрес. Компьютеры офиса могут обращаться к ней через Microsoft Explorer и получать тестовые вопросы. На данном рисунке представлена типичная плата для вложенной системы, где: 1 – Ethernet-карта, связывающая вложенную систему с сетью; 2-3 – постоянные запоминающие устройства (ПЗУ), на которых хранится программа сервера, необходимые таблицы и данные;4-5 – блоки оперативной памяти (ОП), куда загружается объектный код программы, и здесь она выполняется; 6 – процессор; 7 – блок, реализующий TCP/IP соединение со спутниковой антенной.

Как видно из рис. 1, специализированной клиентской части не существует – роль программы-клиента выполняет обычный MS Explorer. Осталось добавить, что в предполагаемой системе отсутствует редактор тестов для методистов – его роль будет играть обычный текстовый редактор, в частности в среде Windows это может быть либо Notebook, либо WordPad, либо Word. Тесты, созданные на обычном текстовом редакторе, прожигаются в чип вложенной системы (см. рис.1, блоки 2–3). Единственное, что требуется методисту, это придерживаться определенного формата при наборе теста. Таким образом, если в традиционной системе присутствовали три компоненты, то в предполагаемой системе – лишь одна, и это сервер, построенный по технологии производства вложенных систем. Вышеизложенное описание показывает, что предлагаемое новое

решение лишено многих недостатков, которыми обладают традиционные тестовые системы. Поскольку система реализованна на классическом ANSI C++ , она может быть реализованна в рамках любой операционной системы, будь то RTOS, DOS либо какое-нибудь мини-подмножество систем типа Windows или Unix. Более того, если программное обеспечение откомпилировать в среде Windows, оно будет работать на обычном универсальном персональном компьютере вне предлагаемой аппаратной архитектуры. Таким образом, достигается ***независимость от платформы*** предлагаемого программного обеспечения.

Так как система не имеет винчестеров и других записывающих устройств, то достигается более высокая ***вирусозащищенность***. Отсутствие каких-либо механических блоков (хотя бы тех же винчестеров) повышает ***надежность системы***. Модельное описание кода, данное в работах [1–2], уже позволяет говорить об его ***компактности***. Это свойство упрощает процесс сопровождения и развития системы. Поскольку система закрыта, то произвольные, либо своевольные изменения исключаются. Это позволяет не менять тесты по ***фундаментальным,*** уже оформившимся дисципланам, чем достигается устойчивость во времени. Имея множество таких серверов, мы получаем ***хранилище фундаментальных знаний***. Высокая надежность и защищенность по праву позволяет называть такое множество ***электронным хранилищем***. Так как методисты в данной системе ***набирают тесты на обычных компьютерных редакторах***, то им не надо затрачивать время на освоение какой–то новой, специфичной программы. Предлагаемая система является высоконадежным сервером и **круглосуточно** может обслуживать студентов, которые получат возможность по вечерам готовиться к занятиям, подключаясь к серверу с домашнего компьютера. Приведенное описание позволяет определить данные системы как тестовые системы нового поколения.

3. Аппаратная архитектура мини-сервера для проведения тестов

На рис. 2 изображена аппаратная архитектура мини-сервера. Загрузка операционной системы происходит через USB порт 1. С этого порта также будут загружатся все программы и стационарные данные, необходимые для работы мини-сервера. Следует отметить, что данный порт предназначен лишь для считывания информации (only for read). В качестве операционной системы желательно выбрать некоторое подмножество UNIX. Обмен информацией с внешним миром происходит через TCP/IP аппаратный блок. Оперативная память 2 гб достаточна, чтобы сервер поддерживал большое количество клиентов (порядка 400– это число получено эмпиричиски). USB порт 2 служит для хранения временной информации мини-сервера. Данный порт предназначен, как для считывания, так и для записи информации (read and write). USB порт 2 не имеет принципиаль-

ного значения для тестовых систем, поэтому может и отсутствовать, что увеличит вирусозащищенность.

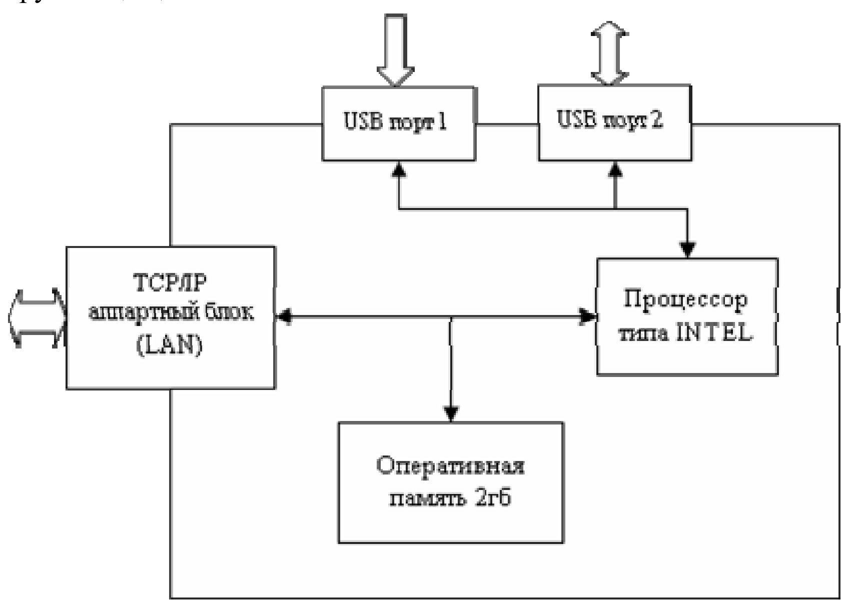


Рис.2. Аппаратная реализация мини-сервера.

Информация о программном обеспечении сервера содежится в работах [1-2].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Егиян И.К.* Тестовая система для проведения экзаменов. Материалы 1-ой Годичной научной конференции РАУ (физико-математические и естественные науки).Ереван. 28 ноября–2 декабря 2006 г. Изд-во РАУ, 2007.
2. *Егиян И.К.* Вложенные тестовые системы для общеобразовательных учреждений, Материалы 2-ой Годичной научной конференции РАУ (физико-математические и естественные науки).Ереван. 3 – 7 декабря 2007 г. Изд-во РАУ, 2008.
3. www.embedded.com
4. en.wikipedia.org/wiki/Real-time_operating_system
5. www.**rtos**.com
6. www.onesmartclick.com/**rtos**/**rtos**.html

ՆՈՐ ՍԵՐՆԴԻ ԱՊԱՐԱՏԱՅԻՆ-ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՏԵՍՏԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Ի.Կ. Եղիյան

Հայ-Ռուսական (Սլավոնական) Համալսարան

Աշխատանքում դիտարկված է համալսարանների համար նոր սերնդի տեստային համակարգի ստեղծման ակտուալությունը: Այսօր մի շարք համալսարաններում գործող լայն տարածում ունեցող տեստային համակարգերը ստեղծված են միայն «Windows» գործառնության համակարգի ներքո աշխատելու համար, դրանք ենթարկված են վիրուսերի գրոհներին, պահանջում են մասնագիտացված տեստեր կազմող խմբագրեր՝ դասախոսների համար,: Այս և մյուս պատճառները խթանում են գտնել նոր ճարտարապետական լուծումներ՝ նման համակարգեր ստեղծելու համար:

NEW GENERATION HARDWARE-SOFTWARE TEST SYSTEMS

I.K. Egiyan

Russian-Armenian (Slavonic) University

Urgency to create test systems of the new generation for universities is studied in the work. The current popular test systems, functioning in the number of Universities, are created only for operating under Windows operational system, they are liable to virus attacks, require specialized editors for lecturers, creating tests. These and other reasons stimulate search of the new architecture solutions to create such systems.

УДК 621.3.049

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ МОДУЛЕЙ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ С УЧЕТОМ ЗАДЕРЖЕК В ЦЕПЯХ

А.Г. Арутюнян

Предложен метод и соответствующий маршрут физического проектирования цифровых интегральных схем, основанный на относительном размещении модулей. Предлагаемый метод позволяет превращать часть глобальных межсоединений в локальные и тем самым способствует повышению быстродействия схемы.
Ключевые слова: цифровая интегральная схема, глобальные и локальные межсоединения, задержка в межсоединениях, относительное размещение модулей.

Непрерывное увеличение интеграции современных цифровых интегральных схем (ИС) приводят к их чрезвычайно большой сложности и проектной стоимости. Так, например, узел ИС с быстродействием, достигающим 500 МГц и содержащий порядка 10^5 логических вентилей, осуществленный в 90 нм технологии, может занять 18 мм х 18 мм полезной площади кремниевого кристалла, потреблять 50–100 ватт мощности и иметь больше 2000 вход-выходов. Проект такой сложности может содержать порядка 10^6 межсоединений. Для организации такого проекта потребуется команда, состоящая из более чем 80 высококвалифицированных инженеров-проектировщиков и, в конечном счете, потребовать инвестиций приблизительно в 800 тысяч $ [1].

Использование традиционного маршрута проектирования, приведенного на рис. 1, предполагает единый сквозной проход этапа физического проектирования.

Подобный маршрут может привести к большому объему неточностей и недостатков, устранение которых потребует многократного циклического прохода всего цикла физического проектирования, включая создание новой общей топологической структуры. При таком подходе потребуются месяцы, чтобы произвести окончательную топологическую структуру. С другой стороны, быстродействие современных цифровых интегральных схем (ИС) во многом зависит от временных задержек сигнала в межсоединениях. С уменьшением технологических размеров и увеличением интеграции ИС увеличивается доля задержки сигналов в линиях связи и в современных ИС достигает до 80–90% от общей задержки сигнала. Задержки в межсоединениях определяются RC параметрами линий связи, которые, в свою очередь, в основном зависят от их длин. Оконча-

тельные длины межсоединений определяются в результате решения задачи трассировки, результаты которой во многом предопределяются размещением элементов. Сложность проблемы размещения приводит к двухэтапному ее решению: начальное (грубое) и окончательное (детальное).

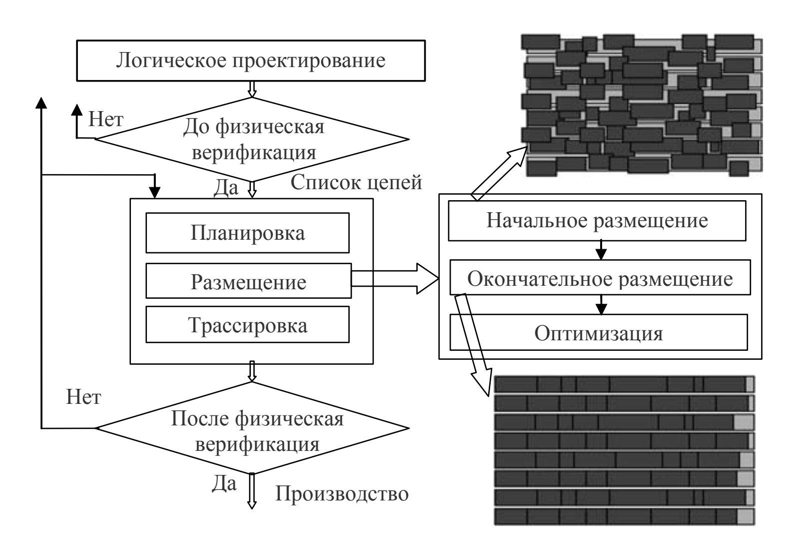


Рис. 1. Маршрут физического проектирования цифровых ИС.

При проектировании ИС с применением традиционного одноуровневого размещении логических ячеек, наблюдается группировка длин межсоединений на две характерные группы, качественное распределение которых приведено на рис. 2.

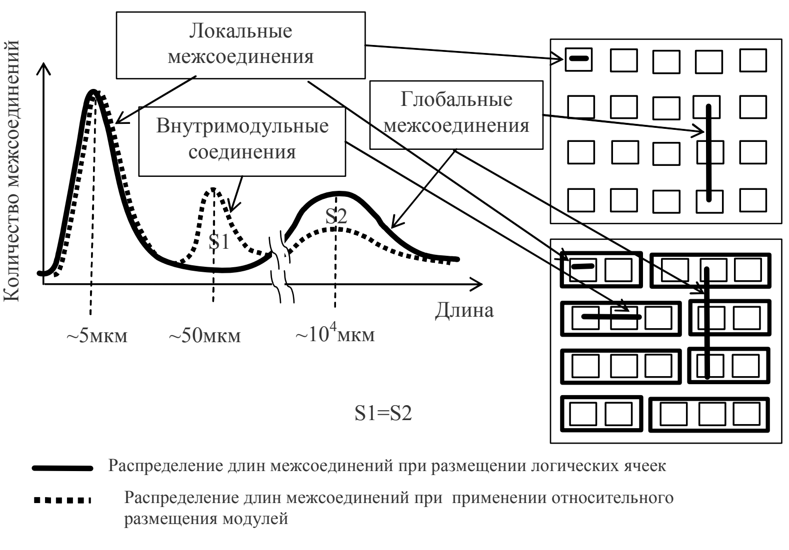


Рис. 2. Распределение длин межсоединений цифровых ИС.

Локальные межсоединения обусловлены связями внутри логических ячеек, длина которых соизмерима с топологическими размерами ячеек, которая, при технологии 90 нм, составляет порядка 5 мкм. Глобальные же межсоединения обусловлены связями между логическими ячейками в пределах общей топологической площади проекта, длина которых соизмерима с топологическими размерами полупроводникового кристалла, которая составляет порядка 10^4 мкм. Если считать, что средние коэффициенты разветвления транзисторов и логических ячеек примерно одинаковы и соотношение их количеств в ИС составляет порядка 10:1, то соотношение суммарных длин локальных и глобальных межсоединений будет составлять порядка $5:10^3$. Таким образом, основная доля задержек сигналов в межсоединениях приходится на глобальные межсоединения.

В настоящей работе предлагается параллельная технология физического проектирования, которая предполагает разделение общей задачи размещения ИС на параллельные подзадачи размещения отдельных модулей. В дальнейшем производится относительное размещением этих модулей. При этом часть глобальных межсоединений становятся внутримодульными. Маршрут такого относительного размещения приведен на рис. 3.

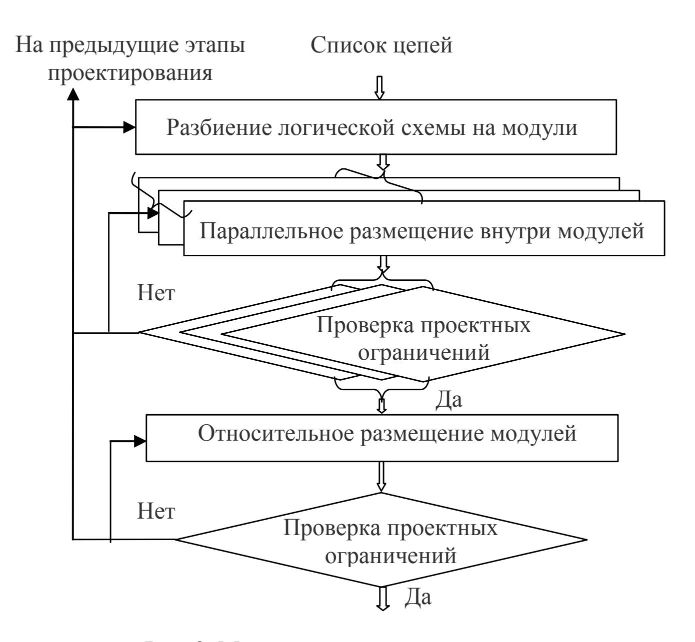


Рис. 3. Маршрут относительного размещения.

Предлагаемый подход позволяет часть длинных глобальных межсоединений превращать в внутримодульные, с несравненно меньшей длиной, близкой к локальной. Эффективность такого подхода зависит от качества разбиения схемы, под которым подразумевается уменьшение количества межмодульных связей за счет увеличения количества внутримодульных.

Предлагаемый подход рассмотрен на примере размещения ячеек тестовой логической схемы, приведенной на рис. 4. Разбиение приведенной схемы на модули, произведено с учетом резервов времени цепей, которые равны разнице верхней и нижней границ задержки сигнала данной цепи, а их значения в условных единицах приведены на рисунке. При этом задержки всех логических ячеек приняты ровным 10 условных единиц. Методика такого расчета более подробно приведена в [2]. Дальнейшее разбиение схемы произведено по известному алгоритму последовательного разбиения по минимуму связанности [3]. В результате сформированы 3 модуля, внутри которых произведено линейное размещение соответствующих ячеек.

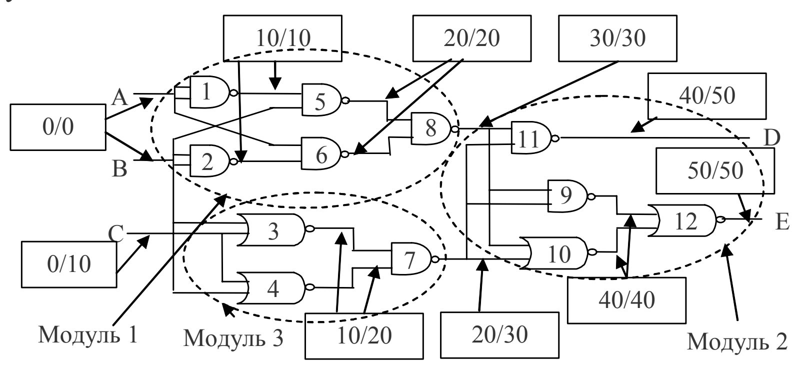


Рис. 4. Временной анализ тестовой цифровой схемы и разделение на модули.

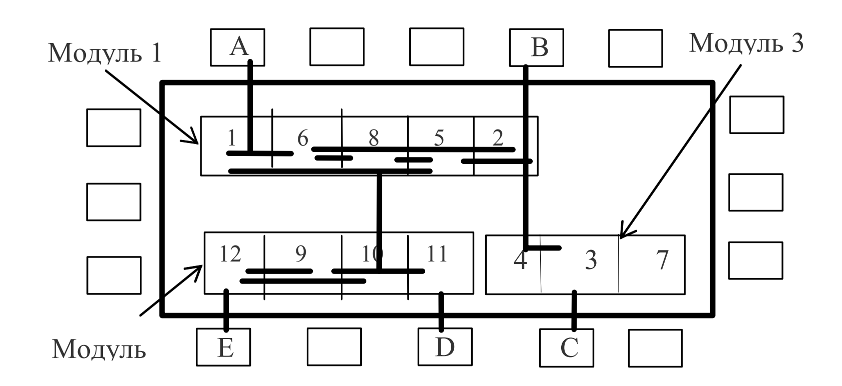


Рис. 5. Результат относительного размещения тестовой цифровой схемы.

Результат окончательного относительного размещения приведен на рис. 5. На размещении показаны межсоединения критических цепей, которые в основном реализованы на уровне внутримодульных связей.

Основные преимущества предложенного подхода относительного размещения можно сводить к следующему:

– Параллельное проектирование множества модулей с одновременным уменьшением глубины обратных связей маршрута проектирования что приводит сокращению времени проектирования с одновременным повышением предсказуемости проектных решений.

– Сокращение числа глобальных межсоединений, приводит к повышению быстродействия проектируемых ИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Talus Automated Chip Creation Methodology// Magma Design Automatin 1650 Technology Drive San Jose, CA 95110: Copyright © 2006 Magma Design Automation, Inc. www.magma-da.com.-San Jose, 2006. 12p.
2. *Арутюнян А.Г., Мхитарян Л.Л.* Размещение логических ячеек комбинационных схем с учетом задержек в цепях// Годичная научная конференция (5-10 декабря 2008г.): Сборник научных статей. Физико-математические и естественные науки.-Ер.: Изд-во РАУ, 2009.С.164-167.
3. *Naveed A.* Sherwani. Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Intel Corporation. Kluwer Academic Publishers, 2004. 572p.

ԹՎԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՄՈԴՈՒԼՆԵՐԻ ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆ ՏԵՂԱԲԱՇԽՈՒՄԸ, ՇՂԹԱՆԵՐՈՒՄ ՀԱՊԱՂՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ

Ա.Գ. Հարությունյան

Առաջարկված է թվային ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման մեթոդ և համապատասխան երթուղի, որը հիմնված է մոդուլների հարաբերական տեղաբաշխման վրա: Առաջարկվող մեթոդը թույլ է տալիս գլոբալ միջմիացումների մի մասը փոխարկել լոկալ միջմիացումների և այդպիսով նպաստել սխեմայի արագագործության բարձրացմանը:

Առանցքային բառեր. թվային ինտեգրալ սխեմա, գլոբալ և լոկալ միջմիացումներ, հապաղում միջմիացումներում, մոդուլների հարաբերական տեղաբաշխում:

RELATIVE PLACEMENT OF MODULES OF DIGITAL INTEGRATED CIRCUITS TAKING INTO ACCOUNT DELAYS IN NETS

A.G. Harutyunyan

The method and a corresponding flow physical design of the digital integrated circuits, based on relative placement of modules is offered. The offered method allows to transform a part of global interconnections in local and by that to promote increase of speed of the circuits.

Keywords: the digital integrated circuit, global and local interconnect, a delay in interconnect, relative placement of modules.

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

Н.Р. Агамалян, Э.С. Варданян, Р.К. Овсепян, С.И. Петросян, А.Р. Погосян

Институт физических исследований НАН Армении, Аштарак-2, Армения

Созданы и исследованы гетероструктуры на основе сегнетоэлектрического кристалла и полупроводниковой пленки: $LiNbO_3$/ZnO:Li и TGS/ZnO:Li. Изготовлена модель сегнетоэлектрического полевого транзистора с использованием пленок ZnO:Li в качестве канала полевого транзистора и объемных кристаллов $LiNbO_3$ или TGS в качестве пироэлектрического чувствительного элемента. Разработан пироэлектрический приемник ИК излучения нового типа, основанный на гетероструктуре сегнетоэлектрик – полевой транзистор, который обладает намного большей обнаружительной способностью и чувствительностью, чем традиционные пироэлектрического приемники. Показана возможность использования сегнетоэлектрического полевого транзистора на основе пленок ZnO:Li, которые обладают и спонтанной поляризацией, и высокой полевой подвижностью носителей заряда, в качестве бистабильного элемента для записи информации.

Введение

Сегнетоэлектрические кристаллы, и в частности кристаллы ниобата лития, обладают множеством свойств, которые используются в нелинейной оптике и лазерной физике, а также при создании устройств интегральной оптики. В частности, сегнетоэлектрические кристаллы и пленки обладают пироэлектрическим эффектом и представляют большой интерес для создания инфракрасных приемников излучения [1-3], а также запоминающих элементов в системах энергонезависимой памяти (nonvolatile memory - NVRAM) [4-6].

Инфракрасные пироприемники, созданные на основе сегнетоэлектрических структур, имеют полезное сочетание характеристик, которые отсутствуют у их аналогов: регистрация излучения в широком спектральном диапазоне, работа при комнатной температуре и простота изготовления. Особенно перспективным представляется создание преобразователей инфракрасного изображения,

работающих в диапазоне 10-50 μm, и визуализаторов изображения в терагерцовом диапазоне.

Типичная схема пироприемника - это тонкая пластина сегнетоэлектрического кристалла, на грани которой перпендикулярно полярной оси нанесены электроды [1]. При изменении температуры кристалла меняется также величина спонтанной поляризации, вследствие чего на полярных гранях появляется избыток зарядов, что в свою очередь порождает ток в кристалле и во внешней цепи. Знак тока зависит от направления изменения поляризации (температуры). Однако, в отличие от других тепловых приемников, пироэлектрический токовый отклик зависит от скорости изменения температуры, а не от самой температуры. Поэтому максимальный отклик получается при временах импульса, меньших времени термической релаксации элемента [7]. В то же время возможности таких устройств не были реализованы по ряду причин, в частности из-за того, что наличие металлических электродов приводит к изменению условий экранирования спонтанной поляризации.

Помимо использования в качестве пироприемников, наличие двух устойчивых состояний спонтанной поляризации у сегнетоэлектриков делает их перспективными для создания энергонезависимых запоминающих устройств. Большая величина запасенной электрической энергии позволяет достичь огромной плотности записи информации с высоким отношением сигнал/шум. В сегнетоэлектриках с P_s=1 мкКл/см^2 переключение поляризации приводит к изменению плотности поверхностного заряда на величину примерно $6*10^{12}$ электрон/см^2, поэтому заряд на площади 1 мкм^2 может считываться с отношением сигнал/шум ~1000, что соответствует 10^4 электронам на единицу информации. Сегнетоэлектрическая память (FeRAM) на основе сегнетоэлектрического полевого транзистора (FFET) имеет определенные преимущества перед другими видами памяти вследствие энергонезависимости, низкого энергопотребления и малого времени доступа к ячейке памяти [8]. В настоящее время ведутся исследования схемотехнических решений для создания памяти на основе FFET [9-10].

Пленки ZnO относятся к широкозонным полупроводникам с электронным типом проводимости [11]. Важным достоинством этих пленок является возможность управления их свойствами, типом и величиной проводимости введением донорной или акцепторной примеси. Так примесь Ga действует как донор, увеличивая проводимость, в то время как акцепторная примесь Li уменьшает проводимость или меняет тип проводимости с электронного на дырочный. Эти пленки могут использоваться в качестве канала прозрачных полевых транзисторов.

В настоящей работе разработаны и исследованы гетероструктуры нового типа на основе сегнетоэлектрического кристалла и полупроводниковой пленки: $LiNbO_3$/ZnO:Li и TGS/ZnO:Li. В отличие от традиционных пироприемников с металлическими электродами и измерителем тока, в предлагаемой структуре пироэлектрический чувствительный элемент ($LiNbO_3$, TGS) не снабжен электродами. Такие структуры имеют высокую пироэлектрическую чувствитель-

ность и, кроме того, обладают одновременно двумя важными свойствами: спонтанной поляризацией и высокой полевой подвижностью электронов в канале. Созданные гетероструктуры могут иметь две основных области применения: пироэлектрические приемники и преобразователи изображений, электрические и оптические запоминающие устройства.

Эксперимент

Используемые монокристаллы $LiNbO_3$ конгруэнтного состава были выращены методом Чохральского, образцы имели форму диска (∅=15 мм, h=1 мм) с осью ***C***, перпендикулярной поверхности диска. Монокристаллы триглицинсульфата (TGS) были выращены из раствора при температуре 50°C, образцы имели форму параллелепипедов с размерами 2×2×0.7 мм.

Чистые и легированные литием пленки ZnO были получены методом электронно-лучевого напыления в вакууме [6] с использованием в качестве подложек пластин из ниобата лития или сапфира ***C***-ориентации. Мишени для напыления изготовлялись методом твердофазного синтеза с добавлением в ZnO примеси Li_2O_3. Концентрация лития в мишени составляла 1, 6 и 10 at.%. Все пленки были изготовлены в одинаковых условиях: энергия электронов была 6 кэВ, температура подложки была 250±1°C, а скорость роста составляла 0.14 нм/сек. Структура тонкопленочного полевого транзистора была получена с использованием маски-трафарета. На подложку сначала напыляли пленку ZnO:Li, а затем тонкие пленки металлического алюминия, которые служили стоком и истоком. Для исключения десорбции–адсорбции кислорода и деградации поверхности пленка ZnO:Li покрывалась слоем MgF_2 [12]. Пленки металлического алюминия и фторида магния были получены методом термического напыления.

Чувствительность и эквивалентная шумовая мощность (NEP) измерялись с использованием модулированного (77 Гц) ИК излучения на длинах волн 0.98 мкм (полупроводниковый лазер) и 1.23 мкм (светодиод) или с помощью имитатора черного тела с эффективной температурой 300°C и резонансного фильтра (λ=10±0.2μм). Переменное напряжение смещения от свип-генератора (50 Hz – 1 МГц) подавалось на структуру тонкопленочного сегнетоэлектрического полевого транзистора, регистрация тока осуществлялась с помощью синхронно-фазового усилителя, настроенного на частоту и фазу генератора. Электрический сигнал от пироприемника усиливался предусилителем с входным импедансом 100 МОм/1.5 пФ и полосой усиления 10Гц. Измерения на постоянном и переменном токе проводились при напряженности электрического поля 10 В/см, а измерения времени релаксации осуществлялись с использованием модулированного оптического излучения и постоянного напряжения смещения. Калибровка системы по интенсивности осуществлялась UV-Si фотодиодом. Регистрация электрического сигнала осуществлялась с использованием Data Acquisition Board фирмы “National Instruments” и цифрового осциллографа. Раз-

работано математическое обеспечение и созданы виртуальные инструменты для измерения характеристик пироэлектрического детектора.

Результаты и их обсуждение

Рентгеноструктурные исследования показали, что методом электронно-лучевого напыления были получены пленки ZnO:Li высокого качества с кристаллографической осью [001], перпендикулярной к поверхности подложки (Рис. 1).

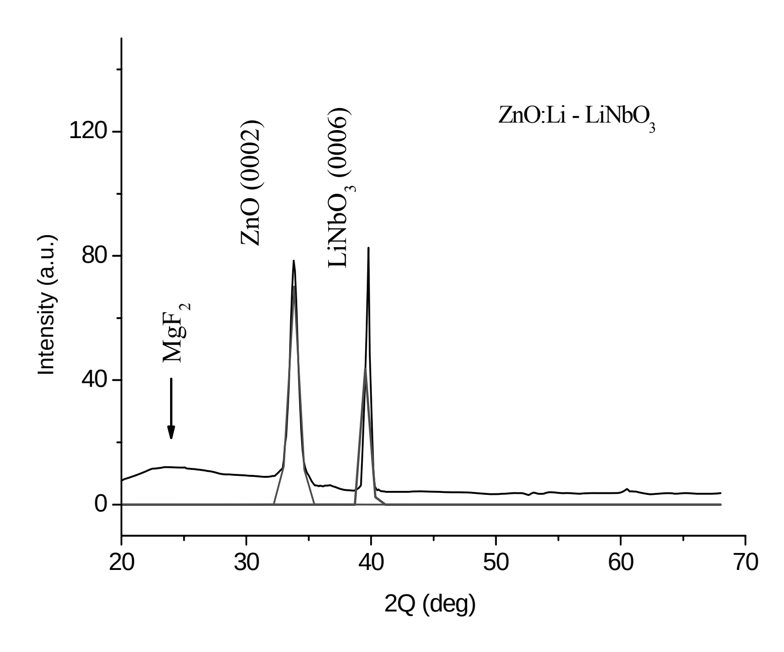


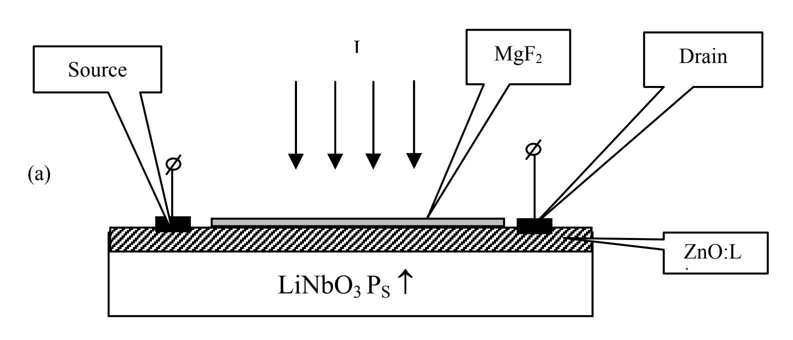
Рис.1. Рентгенограмма гетероструктуры пленка ZnO:Li на подложке $LiNbO_3$.

Так как используемый метод приводит к получению пленок с дефицитом кислорода, то они дополнительно отжигались на воздухе для уменьшения кислородных вакансий и, как следствие, уменьшения донорных центров. При этом проводимость пленок уменьшалась до 0.5×10^{-3} $(\text{Омсм})^{-1}$. В результате получены компенсированные полупроводники, содержащие как донорные, так и акцепторные центры со следующими параметрами: холловская подвижность μ_H=80 $см^2В^{-1}сек^{-1}$ и эффективная полевая подвижность μ_{FE}=15 $см^2В^{-1}сек^{-1}$. Пленки ZnO:Li с такими характеристиками позволили создать тонкопленочные полевые транзисторы с крутизной характеристики S = 1-10 мА/В [13] и коэффициентом шума полевого транзистора в рабочей точке K= 3-10 нВ·$Гц^{-½}$.

Пироэлектрический детектор на основе сегнетоэлектрического полевого транзистора

На Рис.2 показаны схемы созданных структур сегнетоэлектрик– полевой транзистор для использования в качестве пироэлектрического детектора.

Полевой транзистор изготовлен на кристалле $LiNbO_3$, который одновременно является чувствительным элементом и подложкой. В качестве омических контактов истока и стока использовался металлический алюминий, который наносился на поверхность пленки ZnO в виде параллельных полос с расстоянием 10 мм между ними. При измерениях полевые транзисторы включались по схеме дифференциального усилителя с общим истоком.



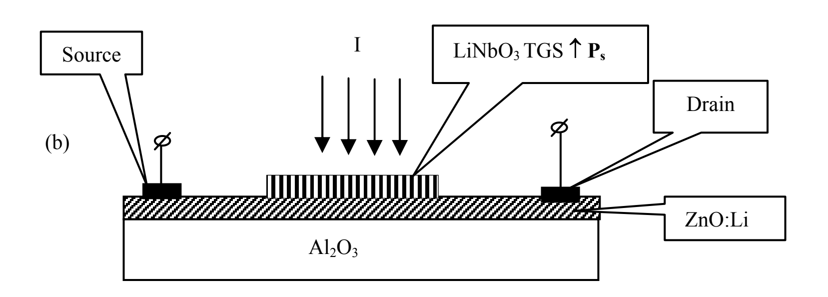


Рис. 2. Структурная схема пироэлектрического детектора ИК излучения. a) Полевой транзистора изготовлен на объемном кристалле $LiNbO_3$, который выполняет роль и чувствительного элемента, и подложки. b) Пироэлектрический кристалл $LiNbO_3$ или TGS расположен над гетероструктурой полевого транзистора, в качестве подложки используется монокристаллический сапфир.

На Рис.3a представлена зависимость напряжения сток-исток U_{DS} от времени для модулированного ИК излучения (Рис.3c), т.е. сигнал пироэлектрического отклика структуры сегнетоэлектрик–полевой транзистор. Для сравнения на Рис.2b показан пироэлектрический отклик (пироток J_{pc}) традиционного пироприемника (кристалла с электродами). На основе этих измерений определена чувствительность по напряжению согласно выражению $R_V = U_{DS}/W$, где W – мощность излучения, U_{DS} - изменение напряжения сток–исток. Созданные на

основе кристаллов TGS сегнетоэлектрические полевые транзисторы обладали чувствительностью R_V = 10-1000 В/Вт.

Для традиционных пироприемников с металлическими электродами и измерителем тока чувствительность по току определялась согласно выражению $R_p = J_{pe}/W$, где W – мощность излучения, которая вызывает пироэлектрический ток J_{pe}. Созданные для сравнительных измерений пироприемники имели чувствительность R_p = 1–10 нА/Вт.

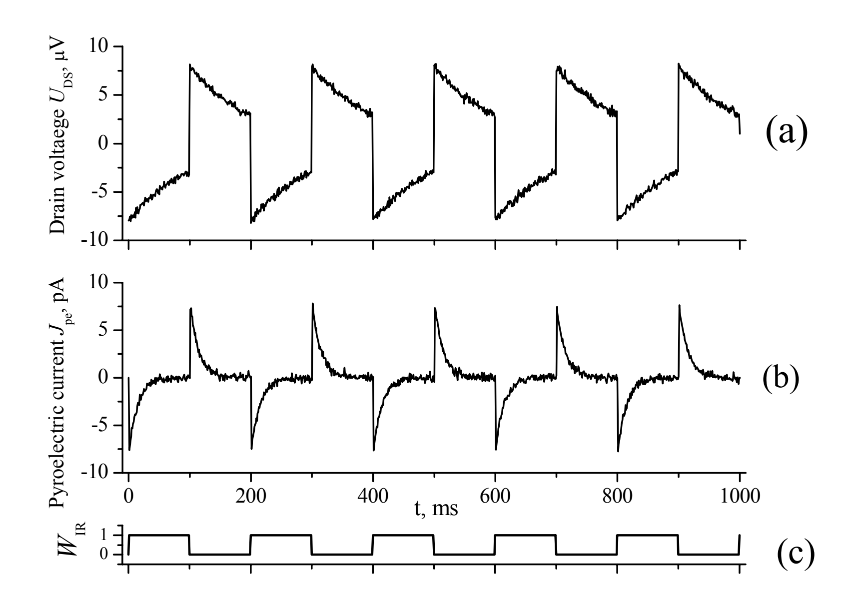


Рис.3. Кинетика пироэлектрического отклика для модулированного ИК излучения: a) гетероструктура сегнетоэлектрик – полевой транзистор, кинетика напряжения сток-исток U_{DS}, b) пироэлектрический отклик классического пироприемника, кинетика тока по внешней цепи, c) входной оптический сигнал.

Эквивалентная шумовая мощность (NEP) для этой гетероструктуры определялась следующим образом. Измерялся шум сегнетоэлектрического полевого транзистора с использованием малошумящего селективного усилителя. Темновой шум имеет спектральную плотность шума $S_V(f)$ = (0.1-100)$\cdot 10^{-12}$ В^2/Гц на частоте 177 Гц. Величина эквивалентной шумовой мощности рассчитывалась из выражения $P_{NEP} = \frac{[S_V(f)]^{1/2}}{R_P}$. Для лучших образцов сегнетоэлектрического полевого транзистора эта величина составила $P_{NEP} = 1\cdot 10^{-9}$ Вт/Гц$^{1/2}$. Обнаружительная способность рассчитывалась согласно формуле $D^* = A^{1/2}/P_{NEP}$, где A-площадь детектора, равная 0.1 см^2. Созданные на основе кристаллов TGS сегне-

тоэлектрические полевые транзисторы в ИК диапазоне обладали обнаружительной способностью $D^* = 1\cdot10^9$ см Гц$^{1/2}$ / Вт.

Зависимость переменной составляющей пиротока от частоты амплитудной модуляции (ω = 2πf) ИК излучения описывается выражением $R_V(\omega) = \dfrac{U_0}{[1+(\omega\tau)^2]^{1/2}}$, где τ - постоянная времени детектора. Для традиционных пироприемников, соединенных с нагрузкой, состоящей из параллельной *R-C* цепи, высокочастотный спад чувствительности определяется электрической постоянной времени цепи приемник–нагрузка и термической релаксацией активного элемента пироприемника. Ширину полосы частот пироприемника можно увеличить, уменьшая сопротивление нагрузки и увеличивая теплопередачу от активного элемента к тепловому резервуару, что приводит к соответствующему уменьшению чувствительности по напряжению.

На Рис.4 приведены зависимости токовой чувствительности для традиционного пироэлектрического приемника от циклической частоты модуляции ИК излучения и чувствительности по напряжению для структуры сегнетоэлектрик–полевой транзистор. Аппроксимацией полученных экспериментальных зависимостей были определены постоянные времени τ для этих структур. Видно, что постоянная времени структуры сегнетоэлектрик–полевой транзистор намного меньше, чем постоянная времени традиционного пироприемника.

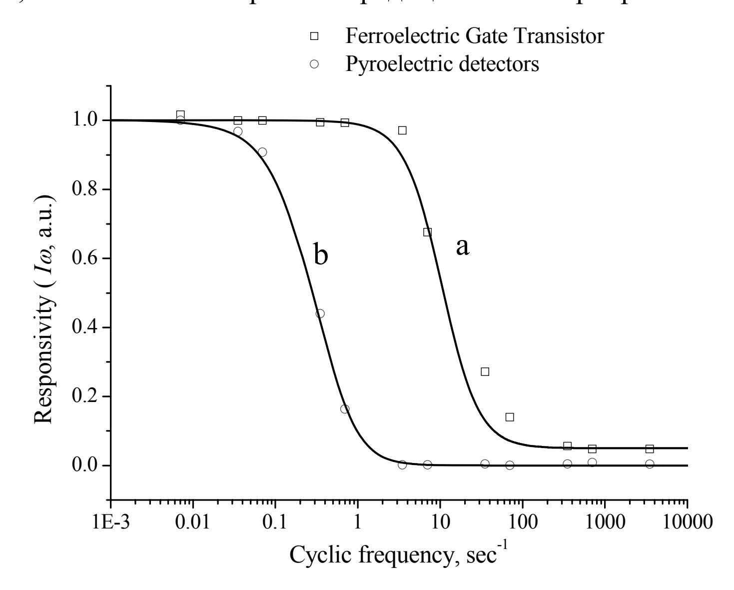


Рис.4. Нормированная частотная характеристика пироэлектрического отклика структуры сегнетоэлектрик–полевой транзистор (a) и традиционного пироприемника (b).

В состоянии термодинамического равновесия сегнетоэлектрический кристалл не обладает внешним электростатическим полем из-за экранирования спонтанной поляризации P_s. Изменение температуры при поглощении ИК излу-

чения приводит к изменению P_s. Если кристалл снабжен электродами, то изменение P_s приводит к протеканию электрического тока. Именно этот ток регистрируется в традиционных пироприемниках. Если кристалл не имеет электродов, то изменение P_s приводит к появлению внешнего электростатического поля (это означает, что кристалл переходит в электретное состояние), напряженность которого можно измерить с помощью тонкопленочного полевого транзистора. Электретное состояние является квазистабильным, и со временем напряженность электростатического поля спадает из-за экранирования P_s. По порядку величины время экранирования совпадает со временем максвелловской релаксации в кристалле $\tau_M = \varepsilon\varepsilon_0/\sigma$. В предлагаемой схеме регистрируется именно внешнее электростатическое поле, при этом практически отсутствует нагрузка, то есть кристалл находится в разомкнутом состоянии, что увеличивает чувствительность и уменьшает шумы.

В рамках настоящей работы созданы и протестированы образцы пироприемников нового типа, лучшие образцы которых имели чувствительность $R_V = 100 \div 1000$ В/Вт и обнаружительную способностью $D^* = 1 \cdot 10^9$ смГц$^{1/2}$/Вт, что намного превышает чувствительность и обнаружительную способность традиционных приемников при использовании тех же пироэлектрических кристаллов.

Сегнетоэлектрические запоминающие устройства с электронным считыванием

Для записи информации предлагается использовать параллельные и антипараллельные направления спонтанной поляризации сегнетоэлектрика, при этом запись информации осуществляется переполяризацией участка (бита информации) внешним электростатическим полем. Для считывания информации имеются разнообразные методы, которые можно разделить на два класса: разрушающий и неразрушающий процессы. Первый метод электрического считывания записанной информации заключается в приложении к каждому элементу памяти электрического поля, превышающего коэрцитивное поле. В элементах с поляризацией, направленной против приложенного поля, происходит переключение поляризации, которое сопровождается большим током смещения, в то время как в элементах с противоположной ориентацией поляризации возникает лишь небольшой ток смещения. Такое считывание разрушает записанную информацию, и поэтому ее необходимо перезаписать. Более привлекательным являются схемы с неразрушающим считыванием, в которых используется другая характеристика кристалла, зависящая от знака поляризации, например пироэлектрический ток. Так в работах [14-16] исследовался «собственный» эффект поля для объемных монокристаллов $BaTiO_3$, исследования проведены на кристаллах, отожженных в атмосфере водорода, что снижало их поверхностное сопротивление. Переключение поляризации приводило к изменению сопротивления вдоль поверхности (001) в пять раз. Это происходит из-за деполяризующего поля, которое имеет максимальную величину в области поверхности и приводит к изменению поверхностной проводимости из-за эффекта поля. Интересными свойствами обладают сегнетоэлектрические пленки ZnO:Li. Эти пленки имеют

спонтанную поляризацию 0.6 мкКл/см^2 и коэрцитивное поле 45 кВ/см. Они одновременно являются полупроводником *n*-типа и обладают достаточно высокой эффективной полевой подвижностью μ_{FE}=15 см^2/Всек. Если их поляризовать так, чтобы поляризация Ps была ориентирована в отрицательном направлении, то в области поверхности понижается концентрация электронов и уменьшается проводимость.

В настоящей работе предложен неразрушающий информацию метод считывания. Знак спонтанной поляризации определяется по отклику тока стока на малый сигнал, подаваемый на затвор тонкопленочного сегнетоэлектрического полевого транзистора.

На рис.5 представлена экспериментальная схема элемента энергонезависимой памяти, созданного на основе полевого сегнетоэлектрического транзистора. Полевой транзистор изготовлен на подложке кристаллического сапфира. На затвор полевого транзистора генератор подает сдвоенные импульсы положительной и отрицательной полярности. Первый импульс приводит к переключению поляризации, второй импульс той же полярности осуществляет зондирование состояния поляризации. В качестве омических контактов истока и стока использовался металлический алюминий, который наносился на поверхность пленки ZnO:Li в виде параллельных полос с расстоянием 5 mm. При измерениях полевой транзистор включался по схеме дифференциального усилителя с общим истоком. Сигналы с выходов A и B поступали на цифровой осциллограф, сигнал со входа A позволял контролировать ток переключения сегнетоэлектрической пленки ZnO:Li, вход B позволял контролировать падение напряжение исток-сток, которое обусловлено направлением спонтанной поляризации (параллельное или антипараллельное).

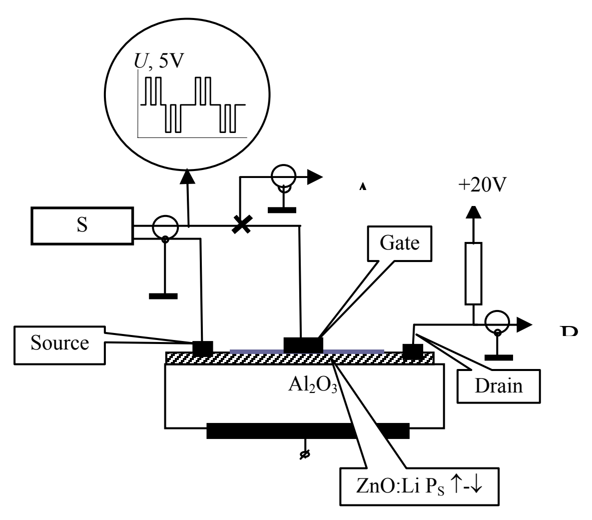


Рис.5 Схема элемента энергонезависимой памяти, созданного на основе полевого сегнетоэлектрического транзистора, *S* - генератор импульсного напряжения.

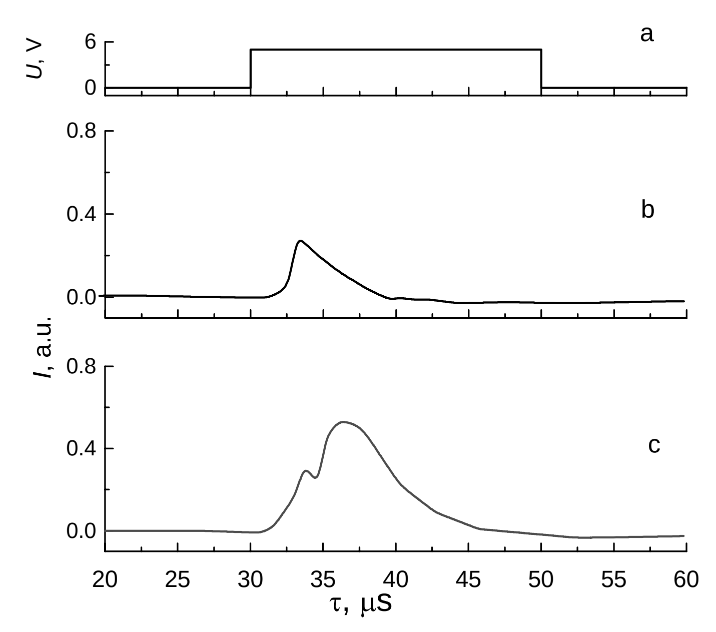


Рис. 6. Зависимость приложенного поля U (a) и тока переключения I от времени в сегнетоэлектрической пленке ZnO:Li. b) – полярность напряжения переключения параллельна спонтанной поляризации и переключение не происходит. c) полярность напряжения переключения антипараллельна спонтанной поляризации и происходит переключение поляризации.

В этих экспериментах электрическое поле подавалось на кристалл в виде ступенчатого импульса (Рис.6а), и измерялась плотность тока смещения от времени. Типичные кривые тока представлены на Рис. 6 (b, c). Когда приложенное поле параллельно спонтанной поляризации P_S, переключения не происходит (Рис. 6b), а когда электрическое поле антипараллельно спонтанной поляризации, происходит переключение (Рис. 6c).

На Рис.7а представлена временная диаграмма напряжения на затворе полевого транзистора. Для записи бинарного «0» на затвор подается положительный импульс, а для записи «1» подается отрицательный импульс. На Рис. 7b представлена соответствующая зависимость напряжения исток-сток сегнетоэлектрического полевого транзистора от времени. Обозначены уровни бинарных «0» и «1». На затвор полевого транзистора подаются сдвоенные импульсы (Рис.7а). Импульсы А приводят к переключению направления спонтанной поляризации P_S, т.е. записывается информация, а импульс В зондирует направление спонтанной поляризации, т.е. считывается информация без её разрушения. Изменение направления спонтанной поляризации приводит к существенному изменению тока стока I_D и, как следствие, к изменению величины падения напряжения U_{DS} исток-сток. Такое состояние сохраняется в течение 10^6 секунд, при этом изменение напряжения исток-сток не превышает 5%. На приведенном рисунке представлены зависимости напряжения исток-сток от времени для случая, когда подаваемые на затвор полевого транзистора

импульсы создают в слое сегнетоэлектрического канала транзистора напряженность электрического поля, превышающую величину коэрцитивного поля.

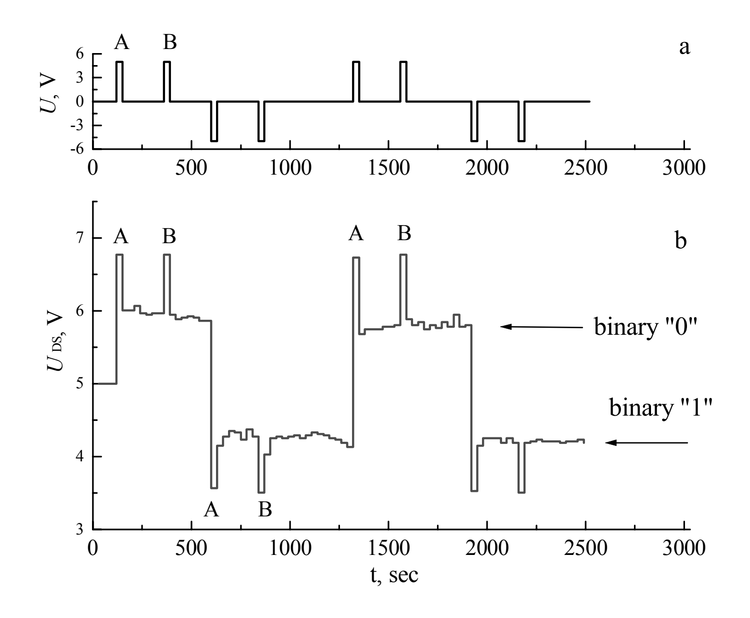


Рис. 7. a) приложенное электрическое поле U_{GS} от времени для элемента (бита) энергонезависимой памяти; b) зависимость напряжения исток-сток сегнетоэлектрического полевого транзистора от времени.

Заключение

Разработан пироэлектрический приемник ИК излучения нового типа, основанный на гетероструктуре сегнетоэлектрик – полевой транзистор. Изготовлена модель сегнетоэлектрического полевого транзистора с использованием пленок ZnO:Li в качестве канала полевого транзистора и объемных кристаллов $LiNbO_3$ или TGS в качестве пироэлектрического чувствительного элемента. Сегнетоэлектрический полевой транзистор обладает намного большей обнаружительной способностью и чувствительностью, чем традиционные пироэлектрического приемники.

Показана возможность создания сегнетоэлектрического полевого транзистора на основе пленки ZnO:Li. Эти пленки обладают и спонтанной поляризацией, и высокой полевой подвижностью носителей заряда, являясь одновременно и каналом полевого транзистора, и бистабильным элементом записи информации.

Работа выполнена в рамках Государственного тематического финансирования Республики Армения и финансовой поддержке фонда ANSEF EN-2177.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кременчугский Л.С.* Тепловые приемники излучения и радиационные калориметры. Справочник по лазерам, М. «Советское радио», 1979 (т. 2, с.137).
2. *Ван дер Зил А.* Шумы при измерениях, М «Мир» (1979).
3. *Kazan B.* Advances in image pickup and display. Academic Press, New York, 1985.
4. *Shu-Yau Wu*. IEEE Trans. Electron. Dev., **Ed-21** (8), 499(1974).
5. *Nakamura T., Nakao Y., Kamisawa A., Takasu H.* IEEE ISSCC (San Francisco, 1955) p. 68.
6. *Ishiwara H., Shimamura T., Tokumitsu E., Jap. J.* Appl. Phys., **36** (3B), 1655 (1997).
7. *Лайнс М., Гласс А.* Сегнетоэлектрики и родственные им материалы, М. «Мир» (1981).
8. *Yil Suk Yang, In-kyu You, Won Jae Lee, Byoung Gon Yu, Kyong-Ik Cho. J. Korean* Phys. Soc., **40** (4), 701 (2002).
6. *Sheikholeslami Ali, Glenn Gulak P.* Proc. IEEE, **88** (5), 667 (2000).
7. *Titkov I., Pronin I., Delimova L., Liniichuk I., Grekhov I.*, Thin Solid Films, **515,** 8748 (2007).
8. *Aghamalyan N.R., Kafadaryan E.A., Hovsepyan R.K.* Trends in Semiconductor Science. Nova Science Publishers, New York, 81-110 (2005).
9. *Агамалян Н.Р., Овсепян Р.К.* Изв. НАН Армении, Физика, 4**3**, 143 (2008)
10. *Овсепян Р.К., Агамалян Н.Р., Петросян С.И.* Изв. НАН Армении, Физика, **45** (2010).
11. *Фридкин В.М.* Сегнетоэлектрики – полупроводники, М. «Наука» (1976)
12. *Crawford I.C.*, Ferroelectrics, **1**, 23 (1970).
13. *Богатко В.В., Ковтонюк Н.Ф.*, ФТТ **12**, 605 (1970).

ԲԱՐԱԿ ԹԱՂԱՆԹԱՅԻՆ ԴԱՇՏԱՅԻՆ ՏՐԱՆԶԻՍՏՈՐ ՀԻՄՆՎԱԾ ՍԵԳՆԵՏՈԷԼԵԿՏՐԻԿ – ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉ ՀԵՏԵՐՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՎՐԱ

Ն.Ռ. Աղամալյան, Է.Ս. Վարդանյան, Ռ.Կ. Հովսեփյան, Ս.Ի. Պետրոսյան, Ա.Ռ. Պողոսյան

Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտ, Աշտարակ-2, Հայաստան

Ստեղծվել և հետազոտվել են հետերոկառուցվածքներ հիմնված սեգնետոէլեկտրիկ բյուրեղի և կիսահաղորդիչ թաղանթի վրա՝ $LiNbO_3$/ZnO:Li և TGS/ZnO:Li. Պատրաստվել է սեգնետոէլեկտրիկ դաշտային տրանզիստոր օգտագործելով ZnO:Li թաղանթը որպես տրանզիստորի կանալ և $LiNbO_3$ կամ TGS բյուրեղները որպես պիրոէլեկտրական զգայուն էլեմենտ: Ստեղծվել է ինֆրակարմիր տիրույթի նոր տիպի պիրոէլեկտրական դետեկտոր հիմնված սեգնետոէլեկտրիկ – դաշտային տրանզիստոր հետերոկառուցվածքի վրա, որը ունի բարձր զգայունություն: Ցույց է

տրված ZnO:Li թաղանթի վրա հիմնված սեգնետոէլեկտրիկ դաշտային տրանզիստորի օգտագործման հնարավորությունը որպես երկկայուն էլեմենտ ինֆորմացիայի գրանցման համար:

THIN FILM FIELD EFFECT TRANSISTOR BASED ON FERROELECTRIC – SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURE

N.R. Aghamalyan, E.S. Vardanyan, R.K. Hovsepyan, S.I. Petrosyan, A.R. Poghosyan

Institute for Physical Research, Ashtarak-2, Armenia

In this work we report the preparation and investigation of heterostructures based on ferroelectric crystal and semiconductor film: $LiNbO_3$/ZnO:Li and TGS/ZnO:Li. The ferroelectric field effect transistor has been prepared using ZnO:Li films as transistor channel and $LiNbO_3$ and TGS crystals as pyroelectric sensitive element. Based on ferroelectric - field effect transistor heterostructure a new type of pyroelectric IR photodetector with high sensitivity and detectability has been developed. The possibility of use of ferroelectric field effect transistor based on ZnO:Li films as bistable element for information writing has been shown.

УДК 621.315

ПРЯМОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКЕ: ОСЦИЛЛЯТОРНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

М.С. Атоян[1], Б.Ж. Погосян[2,3]

[1]*Ереванский государственный университет, Иджеванский филиал Армения*
[2]*Российско-Армянский (Славянский) университет, Армения*
[3]*Гюмрийский государственный педагогический институт, Армения*

Теоретически исследовано прямое оптическое поглощение света в цилиндрической квантовой точке. Найдены аналитические выражения для коэффициентов поглощения света при двух режимах размерного квантования: сильном и слабом. Определены соответствующие правила отбора для оптических переходов. Найдены выражения для граничных частот поглощения.

Введение

Квантовые точки (КТ) остаются одним из наиболее интенсивно исследуемых объектов нанофизики. Уникальность этих систем заключается в том, что движение частиц, находящихся в них, квантовано во всех трех направлениях. Не случайно поэтому, что эти системы называют искусственными атомами. Замечательным свойством КТ является возможность управления их энергетическим спектром в процессе роста конкретного образца. Современные методы выращивания наноструктур позволяют получить КТ различных геометрических форм и размеров [1]. На сегодняшний день получены сферические, пирамидальные, цилиндрические КТ.

Физические свойства КТ изучены как теоретически, так и экспериментально. Например, детально изучены электронные и примесные состояния в КТ (см., напр., [2-8]). В результате этих исследований была обнаружена сильная взаимосвязь между характером энергетического спектра КТ и ее геометрическими параметрами (размер, форма). При этом физико-химические свойства КТ и окружающей среды формируют характер потенциального барьера. С другой стороны, размерами и формой КТ обусловлена высота и симметрия этого потенциала.

Таким образом, естественно предположить, что оптические, кинетические и другие свойства КТ также зависят от вышеперечисленных характеристик. В частности хорошо известно, что спектр прямого оптического поглощения в

полупроводниках обусловлен волновыми функциями и энергетическим спектром носителей заряда, находящихся в них [9]. Одной из первых работ, в которой изучалось оптическое поглощение в КТ, была работа Эфросов [10], в которой авторы теоретически исследовали особенности прямого оптического поглощения в сферической КТ, ограничивающий потенциал которой описывался в рамках сферически симметричной бесконечно глубокой ямы. В дальнейшем авторы [11] рассмотрели поглощение света в сферических КТ с учетом анизотропии зонной структуры. Было показано, что учет анизотропии приводит к появлению оптических переходов, запрещенных в изотропном приближении. В связи с этим резонно ожидать, что изменяя геометрическую форму КТ также можно получить новые переходы между уровнями. Вполне естественно, желание изучить влияние несферичности КТ на прямое оптическое поглощение.

В данной работе теоретически исследовано прямое оптическое поглощение в цилиндрической КТ (ЦКТ). При этом обсуждаются два режима размерного квантования: сильное и слабое, а в направлении оси цилиндра потенциал ограничения рассматривается осцилляторным.

Теория.

Рассмотрим частицу, находящуюся в ЦКТ, ограничивающий потенциал которой имеет вид

$$V_{conf}(\rho,\varphi,z) = V_{conf\,\rho}(\rho) + V_{conf\,z}(z), \tag{1}$$

где $V_{conf\,z}(z)$ – ограничивающий потенциал КТ в направлении оси цилиндра OZ, $V_{conf\,\rho}(\rho)$ – ограничивающий потенциал КТ в плоскости xoy:

$$V_{conf\,\rho}(\rho) = \begin{cases} 0, & |\rho| \le a \\ \infty, & |\rho| > a \end{cases}, \tag{2}$$

$$V_{conf\,Z}(z) = \frac{\mu\omega_z^2 z^2}{2}, \left(\omega_z \sim \frac{\hbar}{\mu L^2}\right). \tag{3}$$

Здесь a – радиус сечения ЦКТ, L – высота цилиндрической КТ.

Для уравнения Шредингера имеем выражение

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu}\Delta\psi + V_{conf\,\rho}(\rho)\psi + V_{conf\,z}(z)\psi = E\psi. \tag{4}$$

Соответствующее решение этого уравнения имеет вид [12]:

$$\psi_{n_\rho,m,n} = CJ_m\left(\kappa_{n_\rho,|m|}\rho\right)e^{im\varphi}\chi(z), \tag{5}$$

где

$$\chi(z)=\left(\frac{\mu\omega_z}{\pi\hbar}\right)^{1/4}\frac{1}{\sqrt{2^n n!}}e^{-\frac{\mu\omega_z}{\hbar}z^2}H_n\left[\sqrt{\frac{\mu\omega_z}{\hbar}}z\right],$$

$$\kappa_{n_\rho,|m|}=\sqrt{\frac{2\mu E_{n_\rho,|m|}}{\hbar^2}}, \tag{6}$$

$$E_{n_\rho,|m|}=\frac{\hbar^2\alpha^2_{n_\rho+1,|m|}}{2\mu a^2} \tag{7}$$

определяет энергия плоского движения, μ – эффективная масса носителей заряда, C – нормировочная постоянная плоского движения, $J_m\left(\kappa_{n_\rho,|m|}\rho\right)$ – цилиндрическая функция Бесселя, m – магнитное квантовое число, n_ρ – радиальное квантовое число, равное числу нулей функции $C_{n_\rho,m}J_m\left(\kappa_{n_\rho,|m|}\rho\right)$, не считая нулей при $\rho=a$ и $\rho=0$ (в случае $m\neq 0$), $H_n(x)$ –полином Эрмита, n – квантовое число, описывающее движение в направлении OZ, $\alpha_{n_\rho+1,|m|}>0$ – $n_\rho+1$-й корень функции Бесселя $J_m\left(\alpha_{n_\rho+1,|m|}\right)=0$ (в порядке возрастания $\alpha_{n_\rho+1,|m|}$); в частности, $\alpha_{10}\approx 2.40, \alpha_{11}\approx 3.83$ и соответственно $E_{00}\approx 2.88\frac{\hbar^2}{\mu a^2}, E_{01}\approx 7.33\frac{\hbar^2}{\mu a^2}$, (подробно смотри работу [12]).

Для энергетических уровней в свою очередь имеем

$$E=\frac{\hbar^2\alpha^2_{n_\rho+1,m}}{2\mu a^2}+\hbar\omega_z\left(n+\frac{1}{2}\right). \tag{8}$$

Таким образом, рассмотренная нами модель КТ является аналитически точно решаемой, благодаря чему возможно рассчитать коэффициенты межзонного прямого поглощения света в этой системе. Вычисление коэффициента поглощения (КП) света будем обсуждать для двух случаев размерного квантования:

а) режим сильного размерного квантования, когда можно пренебречь экситонными эффектами;

б) режим слабого размерного квантования, когда основной вклад в энергию системы обусловлен экситонным взаимодействием.

а) Режим сильного размерного квантования.

Согласно работе [10], КП определяется по формуле

$$K = A\sum_{\substack{n_\rho, n_\rho' \\ mm' \\ nn'}} \left|\int \psi^e_{n_\rho mn}\psi^h_{n_\rho' m'n'} d\vec{r}\right|^2 \delta\left(\Delta - E^e_{n_\rho mn} - E^h_{n_\rho' m'n'}\right), \tag{9}$$

где $\Delta = \hbar\omega - E_g$ (E_g – ширина запрещенной зоны), ω – частота падающего света, индекс e относится к электрону, индекс h – к дырке, A – величина, пропорциональная квадрату модуля матричного элемента дипольного момента, взятого на Блоховских функциях. Отметим тем же, что нами предполагается, что $\mu_e << \mu_h$.

При режиме сильного размерного квантования, когда $\{\rho_0, L\} << \{a^e_B, a^h_B\}$ ($a^{e(h)}_B$ –Боровский радиус электрона (дырки)), влияние стенок КТ настолько велико, что можно воспользоваться одночастичным приближением и пренебречь кулоновским взаимодействием между электроном и дыркой. Тогда можно воспользоваться формулами (5)-(9) и для КП записать

$$K_1 = A\sum_{\substack{n_\rho m \\ nn'}} \left| I_{nn'} D\pi a^2 \left\{ J_{m+1}\left(\alpha_{n_\rho+1,|m|}\right)\right\}^2 \right|^2$$

$$\delta\left(\hbar\omega - E_g - \left(\frac{\hbar^2\alpha^2_{n_\rho+1,m}}{2a^2}\right)\left(\frac{1}{\mu_e}+\frac{1}{\mu_h}\right) - \hbar\omega^e_z\left(n+\frac{1}{2}\right) - \hbar\omega^h_z\left(n'+\frac{1}{2}\right)\right) \quad (10),$$

где

$$I_{nn'} = \int_{-L/2}^{L/2} H_n(\sqrt{\lambda_{ze}}z) H_{n'}(\sqrt{\lambda_{zh}}z) \exp[-\frac{1}{2}(\lambda_{ze} + \lambda_{zh})z^2] dz,$$

$$\lambda_{ze} = \frac{\mu_e\,\omega^e_z}{\hbar}, \ \lambda_{zh} = \frac{\mu_h\,\omega^h_z}{\hbar},$$

D – постоянная, выражаемая через нормировочные константы волновых функций.

б) Режим слабого размерного квантования.

При этом режиме размерного квантования самой большой энергией будет энергия связи экситона. Поэтому волновую функцию системы по аналогии с работой [10] представим в виде

$$\psi(\vec{r}_e, \vec{r}_h) = \varphi(\vec{r}) f(\vec{R}), \tag{11}$$

где $\vec{r} = \vec{r}_e - \vec{r}_h$, $\vec{R} = \dfrac{\mu_e\vec{r}_e + \mu_h\vec{r}_h}{\mu_e + \mu_h}$, $\varphi(\vec{r})$ – волновая функция относительного движения электрона и дырки, $f(\vec{R})$ – волновая функция, описывающая движение центра тяжести экситона. Таким образом, для рассматриваемых моделей

выражения для $f(\vec{R})$ будут совпадать с (5) с той лишь разницей, что вместо μ_e или μ_h будет стоять величина $M = \mu_e + \mu_h$. Соответственно, для значении энергий имеем:

$$E_{ex}^1 = \frac{\hbar^2 \alpha_{n_\rho+1,m}^2}{2Ma^2} + \hbar\Omega_z\left(n + \frac{1}{2}\right) - E_{ex}, \tag{12}$$

где $\Omega_z \sim \frac{\hbar}{ML^2}$, E_{ex}– энергия связи экситона. Что касается функции $\varphi(\vec{r})$, то она выражается посредством известных волновых функций водородоподобного атома. Предполагая, что экситон в основном локализован в окрестностях центра КТ и влияние стенок КТ на энергию связи E_{ex} слабо, а также учитывая неравенства $\left\{a_B^e, a_B^h\right\} << \left\{\rho_0, L\right\}$ для коэффициента поглощения, имеем [10]

$$K_2 = A\sum_{n_\rho mn} |\varphi(0)|^2 \left|\int f_{n_\rho mn}(\vec{R})d\vec{R}\right|^2 \delta\left(\hbar\omega - E_g - E_{ex}^1\right). \tag{13}$$

По относительному движению, единственное не равное нулю значение $\varphi(0)$ соответствует состоянию $l = m = 0$ и равно

$$\varphi(0) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_{ex}^3}}, \tag{14}$$

где a_{ex} – радиус экситона.

После интегрирования для коэффициента поглощения соответствнно имеем:

$$K_1 = A\sum_{n_\rho n}\left|\frac{C_{n_\rho 0n}^1 n!}{\left(\pi a_{ex}^3\right)^{1/2}\left(\frac{n}{2}\right)!} \cdot \frac{1-\alpha_{n_\rho+1,0}^2 J_{-1}\left(\alpha_{n_\rho+1,0}\right)}{\alpha_{n_\rho+1,0}^3}\right|^2 \delta\left(\hbar\omega - E_g + E_{ex} - \left(\frac{\hbar^2\alpha_{n_\rho+1,m}^2}{2Ma^2} + \hbar\Omega_z\left(n+\frac{1}{2}\right)\right)\right). \tag{15}$$

Обсуждение результатов

Сразу отметим, что в первом случае в направлении OZ имеют место переходы, определяемые правилом отбора $|n - n'| = 2t$, где t – целое число, это следует непосредственно из свойств полинома Эрмита. Таким образом, переходы в направлении OZ происходят между уровнями одинаковых четностей. Что касается переходов в плоскости XOY, то для них имеет место правило отбора $m = -m'$, $n_\rho = n_\rho'$. Отметим, что в случае сферической непроницаемой ямы [10] тоже из-за ортогональности функций Бесселя, при аналогичном режиме

квантования переходы имели место между уровнями с одинаковыми орбитальным и радиальным квантовыми числами. Что касается магнитных квантовых чисел, то они опять же удовлетворяют соотношению $m = -m'$. С помощью (12) для граничных частот поглощения можем записать

$$\hbar\omega_{001} = E_g + \left(\frac{2.88\hbar^2}{a^2} + \frac{\gamma\hbar^2}{L^2}\right)\left(\frac{1}{\mu_e} + \frac{1}{\mu_h}\right). \tag{16}$$

В выражении (15) суммирование идет по нечетным значениям n. То есть переходы в направлении OZ происходят между нечетными уровнями. В этом случае граничные частоты будут определяться согласно соотношениям

$$\hbar\omega_{001} = E_g + \frac{2.88\hbar^2}{Ma^2} + \frac{\gamma\hbar^2}{ML^2} - E_{ex}. \tag{17}$$

В заключение обратим внимание на одно важное обстоятельство. В работе [13] рассмотрена задача поведения электрона в ЦКТ под действием параллельно направленных вдоль оси цилиндра электрического и магнитного полей. В ней, в качестве приложения полученных результатов, было найдено выражение для коэффициента прямого поглощения. Для режима сильного размерного квантования вычисления показали, что в направлении OZ приложенное электрическое поле снимает ограничения на правила отбора по n, и переходы могут иметь место между уровнями разных четностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bimberg D., Grundman M. and Ledentsov N.* Quantum Dot Heterostructures (Wiley, 1999).
2. *Zhu J.L., Tang D.H and Xiong J.J.* Phys. Rev. B39, 8609 (1989).
3. *Zhu J.L., Xiong J.J. and Gu B.L. Phys*. Rev. B41, 6001 (1990).
4. *Chuu D.S., Hsiao C.M. and Mei W.N.* Phys. Rev. B46, 3898 (1992).
5. *Bose C. and Sarkar C.* Physica B253, 238 (1998).
6. *Kazaryan E.M., Petrosyan L.S. and Sarkisyan H.A.* Physica E11, 362 (2001).
7. *Dvoyan K.G. and Kazaryan E.M.* Phys. Stat. Sol. B228, 695 (2001).
8. *Niculescu E.*, Modern Phys. Lett. B15, 545 (2001).
9. *Anselm A.I.* Introduction in the Theory of Semiconductors (M. Nauka, 1978).
10. *Efros Al.L., Efros A.L.* Semiconductors, 16, 772 (1982).
11. *Andreev A.D., Lipovskii A.A.* Semiconductors, 33, 1450 (1999).
12. *Flugge S.* Practical Quantum Mechanics 1 (Springer, 1971).
13. *Sarkisyan H.A.* Modern Phys. Lett. B16, 835 (2002).
14. *Kazaryan E.M., Atoyan M.S., Sarkisyan H.A.* Physics of Atomic Nuclei, 68, 1726 (2005).

ԼՈՒՅՍԻ ՄԻՋԳՈՏԻԱԿԱՆ ՈՒՂԻՂ ԿԼԱՆՈՒՄԸ ԳԼԱՆԱՅԻՆ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԿԵՏՈՒՄ: ՕՍՑԻԼՅԱՏՈՐԱՅԻՆ ՄՈՏԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

Մ.Ս. Աթոյան, Բ.Ժ. Պողոսյան

Տեսականորեն հետազոտված է լույսի միջգոտիական ուղիղ կլանումը գլանային քվանտային կետում: Լույսի կլանման գործակցի համար ստացված են վերլուծական արտահայտություններ չափային քվանտացման թույլ և ուժեղ դեպքերի համար: Օպտիկական անցումների համար որոշված են համապատասխան ջոկման կանոններ: Ստացված են արտահայտություններ կլանման եզրի սահմանային հաճախությունների համար:

DIRECT OPTICAL ABSORPTION IN CYLINDRICAL QUANTUM DOT:OSCILLATORY APPROXIMATION

M.S. Atoyan, B.Zh. Poghosyan

Direct optical absorption in cylindrical quantum dot is theoreticaly investigated. Analytical expresstions for absorption coefficient in two size quantization regimes: weak and strong, are obtained. The corresponding selection rules for quantum tranzitions are revealed. Expressions for absorption edge frequences are obtained.

УДК 667.637.27:51

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ОТВЕРДЕВАНИЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ

З.Ц. Степанян, Н.В. Овчиян, Ц.Р. Степанян

Российско-Армянский (Славянский) университет
Институт общей и неорганической химии им. М.Г.Манвеляна НАН РА

Рассмотрены кинетические закономерности отвердевания четырех систем противокоррозионных покрытий, установлен механизм и дано математическое описание процесса автокаталтиической полимеризации этинолево-эпоксидных покрытий и влияние степени пластификации на указанный процесс.

Громадный ущерб, который наносит коррозия металлов экономике стран (в частности, в США ущерб составляет около 300 млрд долларов), а также связанные с ним негативные социальные и экологические последствия делают проблему предохранения металлов от коррозии глобальной.

Среди противокоррозионных методов наиболее распространённым и технологически легко реализуемым является применение защитных лакокрасочных материалов.

Для красок противокоррозионного назначения, наряду с такими показателями как химическая стойкость, эластичность, адгезия покрытия к металлу, важное значение имеет продолжительность высыхания (отвердевания) покрытия, знание кинетики указанного процесса и её зависимости от качественного и количественного состава композиции, что позволяет вести целенаправленный синтез красок с комплексом необходимых свойств.

В данной работе объектом исследования была выбрана система лакокрасочных материалов, в которых в качестве основы плёнкообразователя был использован дивинилацетиленовый лак (ДВАЛ) – этиноль: чистый лак (вариант 1): ДВАЛ, модифицированный органическим олигомером и пластификатором (варианты 2 – 4).

В качестве модифицирующего олигомера была использована эпоксидная смола ЭД-20.

Для обеспечения необходимого уровня твёрдости, пластичности и адгезии покрытий были применены пластификаторы многофункционального действия – сланцевое масло и хлорпарафин ХП – 1100 (в равных количествах).

Для регулирования были добавлены растворители (толуол и бутилацетат) реологических свойств лаков (варианты 3 и 4).

Были испытаны следующие варианты лакокрасочных материалов (концентрации компонентов указаны в масс%):

1. ДВАЛ, пленкообразующее – 55
   растворитель – 45
   вязкость по ВЗ – 4 – 13 – 17 сек.
2. ДВАЛ +ЭД-20 (соотношение 10:1)
   пленкообразующее – 59
   растворитель – 41
   вязкость по ВЗ – 4 – 30 – 35 сек.
3. ДВАЛ – 52,5
   ЭД-20 – 5,2
   растворители – 49,4
   пластификаторы – 16,5
   пленкообразующее – 42
   степень пластификации – 39,3
   вязкость – 30 – 35 сек.
4. ДВАЛ – 38,5
   ЭД-20 – 3,8
   растворители –55,8
   пластификаторы – 19,2
   пленкообразующее – 35
   степень пластификации – 54,9
   вязкость – 30 – 35 сек.

В таблице приведены концентрации пленкообразующих олигомеров, пересчитанные в моль/л.

Варианты лаков	Содержание олигомера, моль/л.		
	ДВАЛ	ЭД-20	Суммарная концентрация
1	0,48	0	0,48
2	0,47	0,24	0,71
3	0,25	0,126	0,376
4	0,19	0,098	0,288

Покрытия были нанесены на стальные пластины (толщина покрытия 40 – 45 мкм), сушка покрытий осуществлялась в комнатных условиях (температура 20 – 22^{0}С).

Оценка степени отвердевания (полимеризации) покрытий производилась по растворимости образовавшейся плёнки в органическом растворителе (толуоле). По завершении процесса отвердевания покрытия и образования по-

лимеров с сетчатой, пространственной структурой защитная плёнка не растворяется в органических растворителях.

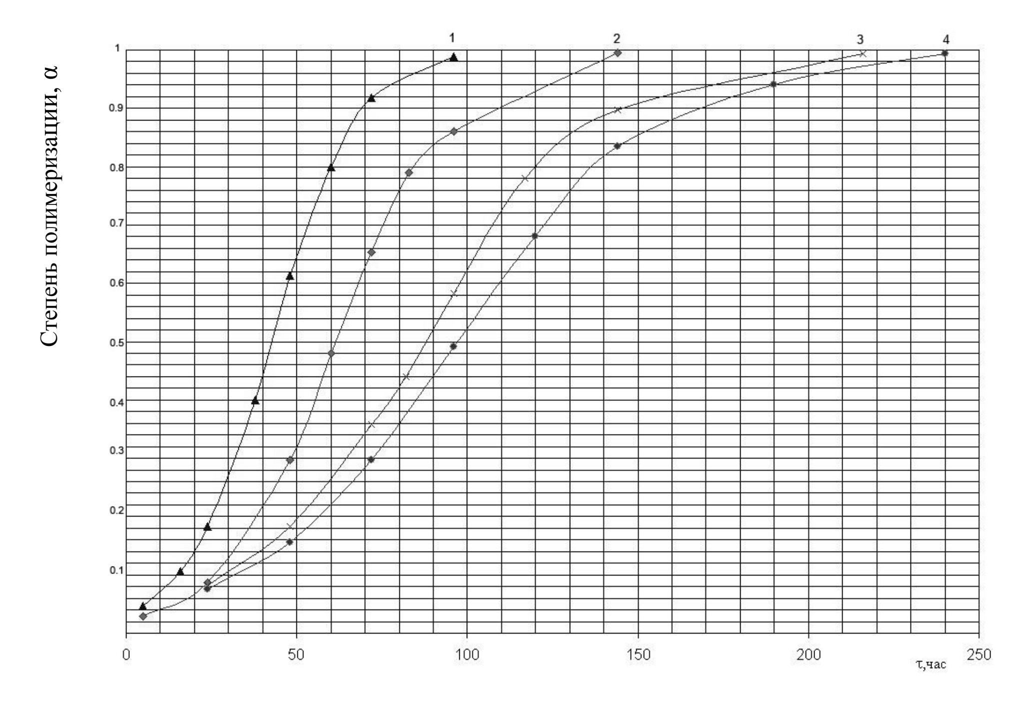


Рис. 1. Кинетика отвердевания покрытий (номера кривых соответствует вариантам 1 – 4)

На рисунке 1 представлены зависимости степени полимеризации плёнки от времени, которые описываются кривыми, характерными для автокаталитических процессов. Начальный участок кривых характеризуется незначительными скоростями полимеризационных процессов.

Это объясняется весьма малой концентрацией катализатора и незначительными скоростями некаталитической реакции. Поэтому в течение некоторого начального периода времени (период индукции) реакция протекает весьма медленно.

По мере испарения растворителя (толуола) происходит сближение молекул ДВАЛ как друг с другом, так и с молекулами эпоксидной смолы. Одновременно с этим, в результате взаимодействия ДВАЛ с кислородом воздуха образуются перекисные соединения, выступающие в качестве катализатора полимеризации (в случае чистого ДВАЛ) и сополимеризации ДВАЛ с эпоксидной смолой [1,5].

Далее, вследствие увеличения концентрации катализатора наступает резкое возрастание скорости полимеризации.

Заключительный участок кривых медленно, асимптотически приближается к 100% пределу в результате израсходования исходных компонентов реакции (уменьшения их числа).

В основу математического описания кинетики отвердевания этинолевых и этинолево-эпоксидных покрытий, с известным допущением, может быть принято выражение скорости полимеризации эпоксидных соединений аминами с учётом автокатализа окисью этилена [6,7].

В нашем случае выражение имет вид:

$$\frac{d\alpha}{dt} = (k_1 + k_2 \cdot \alpha)(1 - \alpha),$$

где: α – степень полимеризации олигомера (этиноля и этинолево-эпоксидной смолы), k_1 и k_2 – константы скоростей некаталитической и каталитической реакций полимеризации.

Следует отметить, что возможность сополимеризации эпоксидной смолы дивинилацетиленовым лаком этиноль впервые была показана в работе [2].

Представленное выше аналитическое выражение кинетики отвердевания покрытий учитывает участие в этом процессе лишь ДВАЛ как самостоятельно (рис.1, кр.1), так и в системе с эпоксидной смолой ЭД-20 (кр.2-4). Это допущение оправдано, т.к. в системе имеет место реакция самополимеризации двух взаимозависимых олигомеров, в силу чего учет расходования лишь ДВАЛ, на наш взгляд, является вполне достаточным.

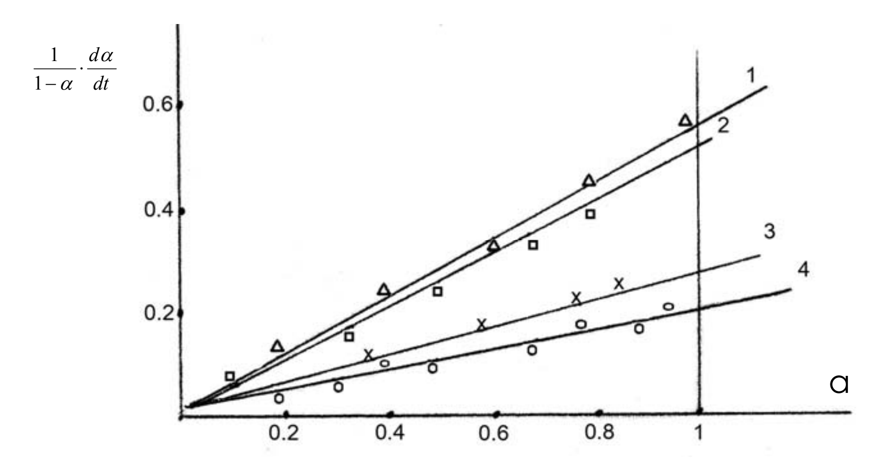


Рис. 2. Зависимость величины $\frac{1}{1-\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt}$ от степени полимеризации (варианты 1 – 4)

На рис.2 кинетические кривые отвердевания покрытий в координатах $\alpha - \frac{1}{1-\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt}$ представляют собой прямые линии.

На основе прямолинейных зависимостей (рис.2) рассчитаны величины

$$k_2 = \frac{tg\varphi_1}{C_{эті}},$$

где φ_i – угол наклона прямых, $C_{эті}$ – концентрация этинолевого олигомера, моль/л.

Их зависимости от степени полимеризации ∝ удовлетворительно укладываются на одну прямую (рис.3).

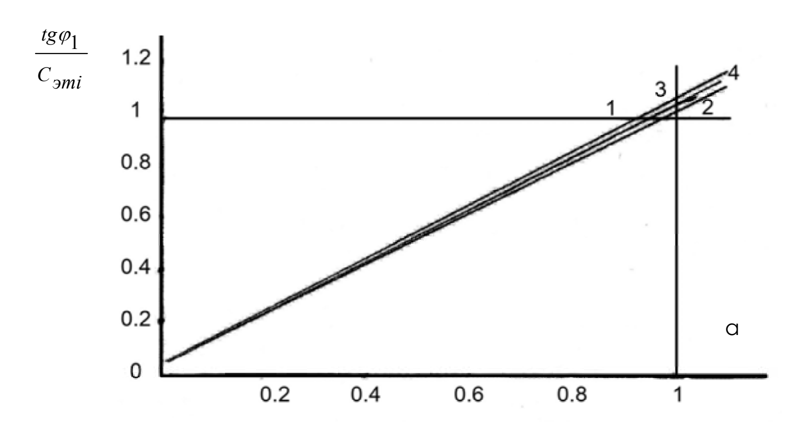


Рис. 3. Зависимость константы $к_0$ от степени полимеризации (варианты 1-4)

Определены также средние значения констант скоростей реакций: $k_1 = 0,02$, $k_2 = 1,07$.

Изучение свойств покрытий показало, что покрытия вариантов 1 и 2 отличаются

высокой стойкостью в агрессивных средах, жесткостью и хрупкостью.

Из кривых рисунка видно, что факторами влияющими на скорость отвердевания этинолевых покрытий, являются наличие эпоксидной смолы и пластификаторов, большие количества которых затрудняют полимеризационные процессы в плёнке.

По своим химическим и физико-механическим свойствам оптимальным являются покрытия на основе варианта 3.

Полученные закономерности кинетики и механизма полимеризации различных покрытий, их математическое описание послужат основой для расширения номенклатуры синтезируемых лакокрасочных материалов с заданными свойствами.

Авторы выражают искреннюю благодарность чл.-корр. НАН РА С.П. Давтяну за ценные советы при создании данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Долгопольский И.М., Лабутин А.Л. и др.* Лак этиноль, Госхимиздат, М., 1963.
2. *Овчиян В.Н., Абалян Н.П.* // Журн. Лакокрасочные материалы и их применение, 1974, №2, с. 41 – 42.
3. Патент Армении №683, 1999.
4. Патент Армении №1642, 2005.
5. *Дринберг М.М.* Материалы для лакокрасочных покрытий, М., Химия 1972
6. *Веденяптина Н.С., Кузнецова В.П., Иванов В.В. и др.* Изв. АН СССР, серия хим. наук, 1971, №9, с. 1956 – 1962.
7. *Давтян С.П.* Неизотермические методы синтеза полимеров, т.1 (Теория и практика процессов адиабатической полимеризации), Изд – во: «Асогик», Ер., 2004, с. 168.

ՀԱԿԱԿՈՌՈԶԻՈՆ ՊԱՏՎԱԾՔՆԵՐԻ ՊՆԴԱՑՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Զ.Ց. Ստեփանյան, Վ.Ն. Օվչիյան, Ց.Ռ. Ստեփանյան

Դիտարկվել են հակակոռոզիոն պատվածքների չորս համակարգերի պնդացման կինետիկական օրինաչափությունները: Հաստատվել են էթինոլ-էպօքսիդային պատվածքների ավտոկատալիտիկ պոլիմերիզացման պրոցեսի մեխանիզմը, պլաստիֆիկացման աստիճանի ազդեցությունը և տրվել է այդ պրոցեսի մաթեմատիկական նկարագրությունը:

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE ANTICORROSIVE COATING CURING PROCESS

Z.Ts. Stepanyan, V.N. Ovchiyan, Ts.R. Stepanyan

The kinetic regularities of four anticorrosive coatings system curing have been examined/ It has been determined the ethinole-epoxy coatings avtokatalitic polymerization process mechanism and plasticizer influence degree. The mathematical description of the indicated process has been given.

УДК 547.491.8.07. (0.88.8)

СИНТЕЗ 2-(2-ХЛОРЭТОКСИ)-СИМ-ТРИАЗИНОВ, ИХ ПЕРЕГРУППИРОВКА И ГЕТЕРОЦИКЛИЗАЦИЯ

К.А. ЭЛИАЗЯН, В.А. ПИВАЗЯН, А.П. ЕНГОЯН

Российско-Армянский (Славянский) университет
Государственный аграрный университет Армении

При термолизе синтезированных 2-(2-хлорэтокси)-4-метокси(алкиламино)-6-морфолин-4-ил(пиперидин-1-ил)-сим-триазинов в результате элиминирования хлористого метила или хлороводорода образуются соответствующие оксазоло(имидазо)-сим-триазиноны. В случае 4,6-бис-морфолино(бис-пиперидино)-производных происходит миграция 2-хлорэтильной группы с образованием 4,6-дизамещенных 2-оксо-3-N-хлорэтил-сим-триазинонов. Строение синтезированных соединений доказано методами ЯМР ^{1}H, ИК и элементным анализом.

Исходя из гетерилтриазинов и с применением ранее открытой нами перегруппировки хлоралкокси(тио, амино)-сим-триазинов в конденсированные гетероазины [1], можно было перейти к многоядерным гетероциклическим системам, производные которых могут представлять интерес в качестве химических средств защиты растений.

В настоящей статье приведены результаты исследования указанной реакции на примере хлорэтоксипроизводных морфолино(пиперидино)-сим-триазинов. Физиологическая активность полученных соединений будет обусловлена не только их основным триазиновым фрагментом, лежащим в основе молекул многих известных триазиновых гербицидов[2-4], но и наличием остатка морфолина и пиперидина, некоторые производные которых применяются в качестве пестицидов [5,6].

Четвертичные соли 1a-j были синтезированы по методике, разработанной ранее [7] для соответствующих алкил- или диалкиламинопроизводных сим-триазина. Оказалось, что указанный метод синтеза, суть которого заключается в действии триметиламина на соответствующие хлортриазины в абсолютном бензоле при комнатной тепературе, применим также при замене этих групп на пиперидиновый и морфолиновый заместители. Хлорэтокси-сим-триазины 2a-j получены действием на четвертичные аммониевые соли 1a-j этиленхлоргидрином в присутствии щелочи при низкой температуре.

1,2a,b R = OMe ; 1,2c,d R = NHMe ; 1,2e,f R = NHEt ; 1,2g,h R = NMe_2 ;
1,2,3i R = $N(CH_2)_4O$; 1,2,3j R = $N(CH_2)_5$; 1,2g X = O; 1,2h X = CH_2 ;
3c,d R = Me ; 3e,f R = Et ; 3a,c,e,i X = O; 3b,d,f,j X = CH_2

Было установлено, что соединения 2a-h при непродолжительном нагревании в индифферентной среде при 115-120^{0}C подвергаются термолизу-перегруппировке с элиминированием или хлористого метила (2a,b), или хлороводорода (2c-f), образуя, соответственно, оксазоло- (3a,b) или имидазо- (3c-f) симтриазиноны. Соединения 3c,d получаются также в результате элиминирования хлористого метила из 2g,h.

Рассмотренная перегруппировка подтверждается спектральными данными. Так, в ИК спектрах соединений 3a-h исчезают полосы поглощений группы С-О-С (1065-1185 см$^{-1}$), характерные соединениям 2a-h, и появляется интенсивное поглощение при 1685-1695 см$^{-1}$, соответствующее сопряженной группе С=О, а в спектрах ЯМР ^{1}Н вместо сигналов протонов группировки $ClCH_2CH_2O$ соединений 2a-h наблюдаются сигналы метиленовых групп оксазольного или имидазольного циклов соединений 3a-h (табл.).

В аналогичных условиях проведения реакции, когда возможность элиминирования хлороводорода или хлористого метила отсутствует, биспиперидино- и бисморфолинопроизводные 2i,j перегруппировываются в 3-N-хлорэтил-симтриазиноны 3i, j, что также подтверждается данными спектров ЯМР ^{1}Н (табл.).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Контроль за ходом реакции и индивидуальностью полученных веществ осуществлен методом ТСХ на пластинках Silufol UV-254 в системе ацетон-гексан, 1:1. ИК спектры сняты на спектрометре “Nicolet Nexus” в вазелиновом масле, спектры ЯМР ^{1}Н − в ДМСО-d_6 на спектрометре ЯМР Mercury-300 с рабочей частотой для протонов 300 МГц. Четвертичные соли 1a-j были синтезирова-

ны по методике, описанной в [7]. Характеристики всех синтезированных соединений приведены в таблице.

2,2'-Хлорэтокси-4-диметиламино-6-пиперидино-сим-триазин (2h). К смеси 6.0 г (0.02 моль) соединения 1h и 6.4 г (0.08 моль) этиленхлоргидрина при 0-5^{0}C и перемешивании медленно прибавляют по каплям 0.08 г (0.02 моль) 10%-ного водного раствора NaOH. Смесь выдерживают в этих условиях 1.5 ч, приливают 15 мл ледяной воды и фильтруют выпавший осадок. Получают 5.0 г (88%) продукта 2h с т.пл.60-62^0(эфир).

Другие соединения 2 получают аналогично.

2-Оксо-4-морфолинотетрагидрооксазоло[3,2-a]сим-триазин (3a). 2.75 г (0.01 моль) соединения 2a в 10 мл абс. толуола кипятят в течение 6 ч. Реакционную смесь охлаждают, выпавший осадок отфильтровывают, остаток на фильтре промывают 10 мл эфира. Получают 2.0 г (83%) продукта 3a с т.пл. 208-210^{0}C. Соединение 3b получают аналогично.

2-Оксо-4-морфолино-8-метилимидазо-сим-триазин (3c). 2.73 г (0.01 моль) соединения 2c в 10 мл абс. толуола кипятят в течение 4 ч. Выпавший осадок отфильтровывают, фильтр промывают 10 мл эфира и получают 2.5 г (91%) гидрохлорида 3c с т.пл. 224-226^{0}C(разл.), который нейтрализуют раствором NaOH до pH 6-7. Раствор упаривают досуха и соединение 3c извлекают ацетоном. Получают 2.0 г (77%) продукта 3c с т.пл. 177-178^{0}C (C_6H_6). Соединения 3d-f получают аналогично.

2-Оксо-3-N-хлорэтил-4,6-диморфолино-сим-триазин (3i). 3.3 г (0.01 моль) соединения 2i в 10 мл абс. толуола кипятят в течение 5 ч. Реакционную смесь охлаждают, фильтруют от мути, фильтрат упаривают, остаток тщательно протирают гексаном, затем петролейным эфиром и фильтруют. Получают 2.65 г (80%) продукта 3i с т.пл. 72-74^{0}C (разл.). Соединение 3j получают аналогично.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Довлатян В.В.* ХГС, 435 (1996)

2. *Мельникова И.А., Баскаков, Ю.А.* А.С.202960 (СССР), Б.И. №20, 39, (1967)

3. *Константинова Н.В., Швиндлерман Г.С., Васильев А.Ф., Баскаков Ю.А.* ЖОрХ, 2, 300 (1970)

4. *Сапожникова Ж.З., Прокофьева А.Ф., Королева Т.И., Мельников Н.Н.* ХГС, 260 (1982)

5. *Андреева Е.И. ЖВХО им. Д.И.Менделеева*, 23, №2, 202 (1978)

6. *Голышин Н.М.* ЖВХО им. Д.И.Менделеева, 29, №1, 74 (1984)

7. *Довлатян В.В., Элиазян К.А.* Арм.хим.жур. 24, 354, (1971)

8. *Енгоян А.П., Мамян С.С., Гомкцян Т.А., Амбарцумян Э.Н., Ворсканян А.С., Довлатян В.В., Элиазян К.А., Пивазян В.А.* ХГС, 1236 (2005)

Таблица. Характеристики соединений **2** и **3**

№	Брутто формула	Найдено,% Вычислено,%				Т пл. ^{0}C	Выход, %	Спектр ЯМР ^1H, δ, м.д. (ДМСО-d_6), КССВ (J), Гц
		C	H	N	Cl			
2a	$C_{10}H_{15}ClN_4O_3$			20.64 20.40	12.38 12.93	102-103	84	3.60-3.85 (10H, м, CH_2Cl и морфолин); 3.90 (3H, с, OCH_3); 4.52 (2H, т, J = 6.7, OCH_2)
2b	$C_{11}H_{17}ClN_4O_2$			20.86 20.55	12.84 13.03	56-57	90	1.55-1.75 [6H, м, $(CH_2)_3$]; 3.72-3.85 (6H, м, $N(CH_2)_2$ и CH_2Cl); 3.90 (3H, с, OCH_3); 4.50 (2H, т, J=6.6, OCH_2)
2c*	$C_{10}H_{16}ClN_5O_2$			26.00 25.59	13.25 12.98	120-122	94	2.90 (3H, с, NCH_3); 3.60-3.82 (10H, м, CH_2Cl и морф.); 4.40-4.52 (2H, м, OCH_2); 6.7, 6.9 и 7.62 (вместе 1H, уш.с, NH)
2d*	$C_{11}H_{18}ClN_5O$			25.45 25.78	12.80 13.07	136-138	90	1.50-1.70 [6H, м, $(CH_2)_3$]; 2.92 (3H, с, NCH_3); 3.70-3.83 [6H, м, $N(CH_2)_2$ и CH_2Cl]; 4.43 (2H, т, J=6.6, OCH_2); 6.75, 7.00 и 7.70 (вместе 1H, уш.с, NH)
2e*	$C_{11}H_{18}ClN_5O_2$			24.52 24.34	12.61 12.34	126-128	96	1.22 (3H, т, J=7.0, CH_3); 3.40 (2H, к, J=7.0, $N\underline{CH_2}CH_3$); 3.72-3.85 (10H, м, морфолин и CH_2Cl); 4.45 (2H, т, J=6.7, OCH_2); 6.80, 6.90 и 7.65 (вместе 1H, уш.с, NH)
2f*	$C_{12}H_{20}ClN_5O$			24.18 24.52	12.10 12.43	112-114	82	1.20 (3H, т, J=7.0, CH_3); 1.50-1.70 [6H, м, $(CH_2)_3$]; 3.42 (2H, к, J=7.0, $N\underline{CH_2}CH_3$); 3.70-3.85 [6H, м, $N(CH_2)_2$ и CH_2Cl]; 4.42 (2H, т, J=6.5, OCH_2); 6.90, 7.00 и 7.80 (вместе 1H, уш.с, NH)
2g	$C_{11}H_{18}ClN_5O_2$			24.60 24.34	12.59 12.34	96-98	90	3.10 [6H, с, $N(CH_3)_2$]; 3.60-3.77 (8H, м, морфолин); 3.79(2H, т, J=6.7, CH_2Cl); 4.43 (2H, т, J=6.7, OCH_2)
2h	$C_{12}H_{20}ClN_5O$			24.82 24.52	12.65 12.43	60-62	88	1.50-1.70 [6H, м, $(CH_2)_3$]; 3.08 [6H, с, $N(CH_3)_2$]; 3.70-3.83 [6H, м, $N(CH_2)_2$ и CH_2Cl]; 4.40 (2H, т, J=6.6, OCH_2);

(In the Найдено/Вычислено cells, the upper, underlined value is found and the lower value is calculated.)

2i	$C_{13}H_{20}ClN_5O_3$			21.47 / 21.24	11.05 / 10.77	140-142	83	3.60-3.76 (16H, м, морфолин); 3.79 (2H, т, J=6.7, CH_2Cl); 4.43 (2H, т, J=6.7, OCH_2)
2j	$C_{15}H_{24}ClN_5O$			21.18 / 21.51	11.33 / 10.91	88-90	83	1.50-1.70 [12H, м, $(CH_2)_6$-пиперидин]; 3.70-3.82 [10H, м, $N(CH_2)_4$-пиперидин и CH_2Cl]; 4.45 (2H, т, J=6.6, OCH_2)
3a	$C_9H_{12}N_4O_3$	48.57 / 48.21	5.61 / 5.36	25.23 / 25.00		208-210	83	3.58-3.82 (8H, м, морфолин); 4.10 (2H, т, J=7.5, NCH_2); 4.70 (2H, т, J=7.5, OCH_2)
3b	$C_{10}H_{14}N_4O_2$	53.83 / 54.05	6.50 / 6.31	25.51 / 25.23		184-186	90	1.50-1.75[6H, м, $(CH_2)_3$]; 3.75 [4H, м, $(NCH_2)_2$]; 4.07 (2H, т, J=7.4, NCH_2); 4.70 (2H, т, J=7.4, OCH_2)
3c	$C_{11}H_{17}N_5O$	51.00 / 50.63	6.49 / 6.33	29.11 / 29.54		177-178	77	2.95 (3H, с, NCH_3); 3.58-3.80 (8H, м, морф.); 3.67 (2H, т, J=7.5, NCH_2); 3.90 (2H, т, J=7.5, NCH_2)
3d	$C_{11}H_{17}N_5O$	56.52 / 56.17	7.43 / 7.23	30.04 / 29.79		138-140	86	1.50-1.72[6H, м, $(CH_2)_3$]; 3.62 (2H, т, J=7.3, NCH_2); 3.72 [4H, м, $N(CH_2)_2$]; 3.90 (2H, т, J=7.3, NCH_2)
3e	$C_{11}H_{17}N_5O_2$	52.11 / 52.59	6.55 / 6.77	28.12 / 27.89		172-174	79	1.20 (3H, т, J=7.2, CH_3); 3.42 (2H, к, J=7.2, $N\underline{CH_2}CH_3$); 3.57-3.80 (8H, м, морф.); 3.70 (2H,т, J=7.5, NCH_2); 3.90(2H, т, J=7.5, NCH_2)
3f	$C_{12}H_{19}N_5O$	57.56 / 57.83	7.85 / 7.63	27.76 / 28.11		128-130	72	1.22 (3H, т, J=7.0, CH_3); 1.50-1.75[6H, м, $(CH_2)_3$]; 3.42 (2H, к, J=7.0, $N\underline{CH_2}CH_3$); 3.60 (2H, т, J=7.3, NCH_2); 3.72 [4H, м, $N(CH_2)_2$-пиперидин]; 3.88 (2H, т, J=7.3, NCH_2)
3i	$C_{13}H_{20}N_5O_3$	47.62 / 47.34	6.39 / 6.07	21.49 / 21.24		72-74	80	3.50-3.97 (м, CH_2Cl, NCH_2 и морфолин)
3j	$C_{15}H_{24}ClN_5O$	54.90 / 55.30	7.01 / 7.37	21.83 / 21.51		112-114	90	1.50-1.70 [12H, м, $(CH_2)_6$-пиперидин]; 3.65-3.82 [10H, м, $N(CH_2)_4$-пиперидин и CH_2Cl]; 3.95 (2H, т, J=6.8, NCH_2)

*) В спектрах ЯМР ^{1}H этих соединений наблюдаются сигналы от различных конформеров, что связано с заторможенным вращением вокруг связи N-гетероцикл. Этот процесс подробно изучен в работе [8].

2-(2-ՔԼՈՐԷԹՕՔՍԻ)-ՍԻՄ-ՏՐԻԱԶԻՆՆԵՐԻ ՍԻՆԹԵԶԸ, ԴՐԱՆՑ ՎԵՐԱԽՄԲԱՎՈՐՈՒՄԸ և ՀԵՏԵՐՈՑԻԿԼՈՒՄԸ

Կ.Ա. Էլիազյան, Վ.Ա.Պիվազյան, Ա.Փ. Ենգոյան

Սինթեզված 2-(2-քլորէթօքսի)-4-մեթօքսի(ալկիլամինո)-6-մորֆոլին-4-իլ (պիպերիդին-1-իլ)-[1,3,5]տրիազինների թերմոլիզի ժամանակ անջատվում է մեթիլքլորիդ, կամ քլորաջրածին, որի արդյունքում առաջանում են համապատասխան օքսազոլո(իմիդազո)-սիմ-տրիազինոններ: 4,6-Դիմորֆոլին-4-իլ(դիպիպերիդին-1-իլ) ածանցյալների դեպքում ընթանում է քլորէթիլ խմբի տեղափոխություն, որը հանգեցնում է համապատասխան 1-(2-քլորէթիլ)-1*H*-[1,3,5]տրիազինոնների գոյացմանը: Սինթեզված նյութերի կառուցվածքը հաստատված է ^{1}H ՄՄՌ, ԻԿ մեթոդներով և տարրական անալիզով:

SYNTHESIS OF 2-(2-CHLORO-ETHOXY)-SYM-TRIAZINES, THEIR REARRANGEMENT AND HETEROCYCLIZATION

K.A. Eliazyan, V.A. Pivazyan, A.P. Yengoyan

At thermolysis of synthesized 2-(2-chloro-ethoxy)-4-methoxy(alkylamino)-6-morpholin-4-yl-(pyperidin-1-yl)-[1,3,5]triazines the elimination of methyl chloride or hydrogen chloride is observed and corresponding oxazolo(imidazo)-sym-triazinones are obtained. In the case of 4,6-bis-morpholino-(bis-pyperidino) derivatives the migration of chloro-ethyl group is occured, which leads to corresponding 1-(2-chloro-ethyl)-1*H*-[1,3,5]-triazine-2-ones formation. The structures of compounds were confirmed by ^{1}H NMR, IR and elemental analysis.

УДК 579.61

АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКСТРАКТА HYPERICUM PERFORATUM НА ESCHERICHIA COLI

Г.О. Айвазян[1], С.С. Блбулян[1], Г.Р. Вардапетян[1], А.А. Трчунян[1,2]

[1]*Российско-Армянский (Славянский) университет*
[2]*Ереванский государственный университет*

Экстракты *Hypericum perforatum in vitro* проявляют **б**актерицидное действие на грамм-положительные и грамм-отрицательные микроорганизмы.В данной работе исследовалось действие экстракта *H. perforatum* на выживаемость бактерий *E.coli* штамма *К-12*.Экстракт *H. perforatum*, содержащий гиперицин в концентрациях от $6*10^{-9}$ до $6*10^{-7}$ М, подавляет рост колоний *E.coli* на протяжении 1, 2 и 3-х дней. При этом наблюдается уменьшение как количества колоний, так и диаметра. Снижение выживаемости бактерий *E. coli* при отсутствии действия экстрактов *H. perforatum* на резистентность эритроцитов в темновых условиях дает возможность рассматривать экстракт зверобоя, содержащий гиперицин как потенциальный фотозависимый стерилизатор крови.

В последние годы возрос интерес исследователей к фотодинамическому повреждению бактериальных клеток посредством фотодинамической антимикробной химиотерапии [1]. В основном это связано с необходимостью поиска новых путей стерилизации зараженных объектов и лечения бактериальных инфекций из-за быстрых эволюционных изменений в природе, приводящих к появлению широкого разнообразия антибиотико-устойчивых патогенных штаммов. С другой стороны, необходимо учитывать, что в большинстве стран с развивающейся рыночной экономикой финансирование систем здравоохранения и санитарно-эпидемиологического контроля находится на довольно низком уровне. Это также требует поиска новых более дешевых антимикробных агентов.

В фитотерапии издревле широко применяются растения рода *Hypericum, ф*армацевтическая важность которых быстро возросла в связи с обнаружением анти(ретро)вирусной, антибактериальний, антиопухолевой активностей некоторых вторичных метаболитов (гиперицин, кверцетин, новоиманин и др.) [2]. Основным физиологически активным компонентом *H. perforatum* (зверобой продырявленный) является гиперицин, фотосенсибилизирующий пигмент, отвечающий требованиям, предъявляемым к фотосенсибилизаторам для применения в фотодинамической терапии: высокий квантовый выход триплетного состояния и генера-

ции синглетного кислорода, отсутствие побочного темнового действия и другими характеристиками, которые являются определяющими для клинических приложений. Гиперицин является первым из группы фотодинамических диантрохинонов, оцениваемый как потенциальный стерилизатор крови [1]. Антимикробиальная активность гиперицина может иметь большое значение при переливании крови, поскольку скрытая инфекция периферийных моноцитов является распространенным путем передачи инфекций [1]. Потенциальный инактиватор должен быть способным к переводу инфицированной крови в неинфекционную. Гиперицин имеет уникальную молекулярную структуру, половина которой гидрофильна, тогда как другая половина, содержащая метильные группы, гидрофобна. Благодаря этому молекула гиперицина может связываться со структурными компонентами бислойной клеточной мембраны бактерий, что может способствовать индукции антимикробиальной активности [2].

E. coli являются наиболее хорошо изученными бактериями и широко используются для выявления как антибактериальных эффектов различных химических веществ и физических факторов, так и механизмов их действия [3]. Целью настоящей работы являлось исследование антимикробной активности экстракта *H. perforatum*, при этом в качестве объекта использовались бактерии *E.coli* К-12.

Экспериментальная часть

Экстракт *H. perforatum* L. из цветков и листьев зверобоя получали настаиванием в 96% этаноле в течение недели в темновых условиях и добавляли в среду с таким расчетом, чтобы конечная концентрация спирта была равна 0,1%, и которая не влияла на рост колоний. Концентрацию гиперицина определяли по оптической плотности с помощью спектрофотометра при длине волны в 590 нм, принимая коэффициент молярного поглощения ε=43500. В качестве контроля использовали питательную среду, содержащую 0.1 % этанола.

Бактерии *E. coli* К-12, природно-лизогенный лабораторный штамм, выращивали на питательные средах на чашках Петри, содержащих 1.5 % агара и минимальную солевую среду [3]. Количество бактерий определяли подсчетом колоний после роста при температуре в 37^0C в течение 3 дней [3]. Размеры колоний определяли с помощью микроскопа.

Биологическая повторность экспериментов 4-6 кратная при проведении 2-3 серий опытов в каждом. На графике приведены средние арифметические данные и их стандартные ошибки.

Результаты экспериментов показали, что экстракт *H. perforatum L*, содержащий гиперицин в концентрациях от $6*10^{-9}$ до $6*10^{-7}$ М, подавляет рост колоний *E.coli* на протяжении 1, 2 и 3-х дней. На рис. 1 приведены результаты роста колоний *E.coli* в этаноле (0.1%) и под действием разных концентраций гиперицина в экстракте через 24 часа после высеивания на чашках Петри, из которого видно изменение кинетики роста колоний от линейной – в случае этанола до

квадратичной – под действием экстракта *H. perforatum.* При этом наблюдается уменьшение как количества колоний, так и диаметра (рис. 2). Необходимо отметить, что в пределах используемых концентраций гиперицина в экстракте, которые не превышают допустимую суточную дозу, гемолиза эритроцитов не наблюдается [4].

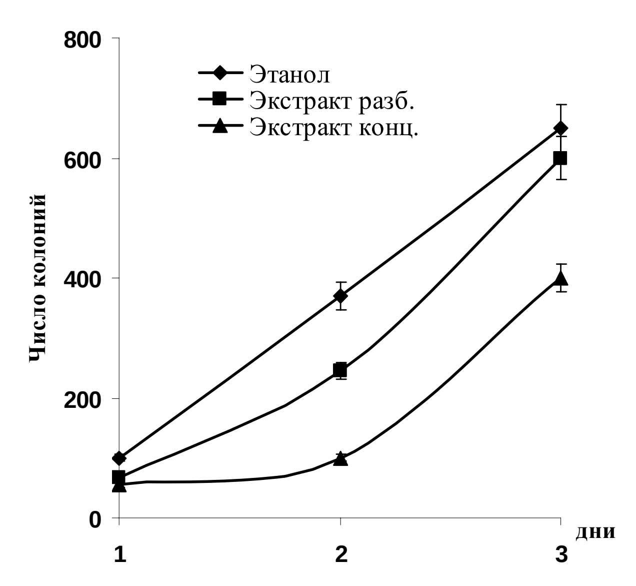


Рис.1. Число колоний *E.coli* в зависимости от концентрации гиперицина в экстракте *H. perforatum*, где ■ - $6*10^{-9}$ М; ▲- $6*10^{-7}$ М.

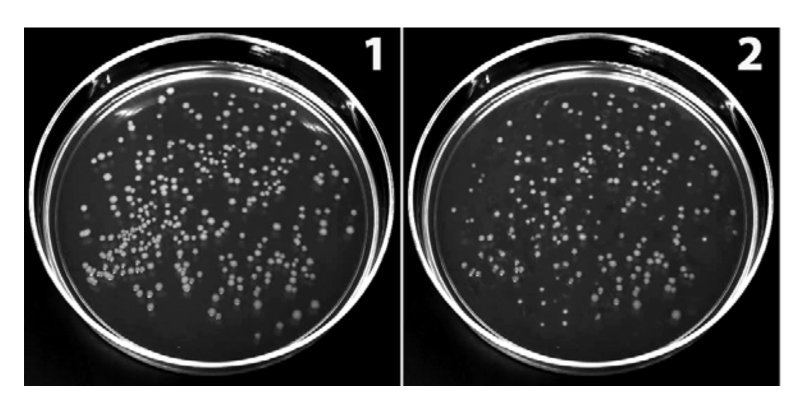


Рис.2. Морфологические особенности колоний *E.coli* в этаноле (1) и под действием экстракта *H. perforatum* с концентрацией гиперицина $6*10^{-7}$ М (2).

Таким образом показано, что экстракт *H. perforatum* обладает антибактериальным действием и снижает выживаемость грамм-отрицательных бактерий *E. coli* в темновых условиях. При этом деструкции эритроцитов не происходит [4]. Следует при этом иметь ввиду, что грамм-отрицательные бактерии могут

быть более резистенты к дезинфицирующим агентам в своем «натуральном виде» по сравнению с *in vitro* бактериальными культурами. Эти незначительные различия в резистентности могут стать важными при использовании низких концентраций дезинфицирующих препаратов. Снижение выживаемости бактерий *E. coli* при отсутствии действия экстрактов *H. perforatum* на резистентность эритроцитов в темновых условиях дает возможность рассматривать экстракт зверобоя, содержащий гиперицин как потенциальный фотозависимый стерилизатор крови. В связи с этим планируется изучение сравнительной характеристики фотодинамического действия гиперицина и различных экстрактов *H. perforatum* по их влиянию на жизнеспособность грамм-отрицательных и грамм-положительных микроорганизмов как способа стерилизации зараженных микробами объектов. Это будет иметь важное значение как в биотехнологии, так и в медицине и ветеринарии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Prince A.M., Pascual D., Meruelo D., Liebes L., Mazur Y., Dubovi E., Mandel M., Lavie G.* (2000) Strategies for evaluation of enveloped virus inactivation in red cell concentrates using hypericin. // Photochemistry and Photobiology, № 71, p.188–195.

2. *Miskovsky P.* (2002) Hypericin - a new antiviral and antitumor photosensitizer: Mechanism of action and interaction with biological macromolecules. // Current Drug Targets, V. 3(1), p.55–84.

3. *Markaryan S.A., Poladyan A.A., Kirakosyan G.R., Trchounian A.A, Bagramyan K.A.* (2002) Effect of diethylsulphoxide on growth, survival and ion exchange of *Escherichia coli* // Lett. Appl. Microbiol. 34, 417-421.

4. *Vardapetyan H.R., Martirosyan A.S., Tiratsuyan S.G., Hovhannisyan A.A., Zakaryan H.A.* “Erythrocytes as model system for evaluation of photosensitizers efficiency”, Herald of the Russian-Armenian (Slavonic) University, № 1, p.81-86, 2009.

HYPERICUM PERFORATUM-Ի ԷՔՍՏՐԱԿՏԻ ՀԱԿԱԲԱԿՏԵՐԻԱԼ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ESCHERICHIA COLI-Ի ՎՐԱ

Գ.Հ. Այվազյան[1], Ս.Ս. Բլբուլյան[1], Հ.Ռ. Վարդապետյան[1], Ա.Հ. Թռչունյան [1,2]

[1]Հայ-Ռուսական (Սլավոնական) համալսարան
[2]Երևանի Պետական Համալսարան

Ուսումնասիրվել է H. perforatum-ի էքստրակտի ազդեցությունը փորձարարական մոդելի՝ E. coli-ի գրամ-բացասական բակտերիաների կուլտուրաների վրա: Ցույց է տրվել, որ H. perforatum-ի էքստրակտը հիպերիցինի կոնցենտրացիայից կախված առաջ է բերում բակտերիաների կենսունակության զգալի անկում և գաղութների չափսերի (տրամագծի) փոքրացում:

HYPERICUM PERFORATUM EXTRACT ANTIBACTERIAL ACTION ON ESCHERICHIA COLI

G.O. Ayvazyan[1], S.S.Blbulyan[1], H.R. Vardapetyan[1], A.A. Trchounian[1,2]

[1]Russian-Armenian (Slavonic) university
[2]Yerevan State University

The H. perforatum extract action on gram-negative E. coli was studied. It was shown that the viability of bacteria decreased significantly and the sizes (diameter) of a single colony were lowered under the influence of H. perforatum extract those were dependent on hypericin concentration.

ЭНЗИМАТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФРАКЦИЙ ЯДА ГЮРЗЫ MACROVIPERA LEBETINA OBTUSA IN VITRO.

Б.Г. Бабаян[1], Г.Р. Вардапетян[1], М.В. Антонян[2], С.С. Геворгян[2], А.В. Восканян[2]

[1]Российско-Армянский (Славянский) Университет,
[2] Институт физиологии НАН РА

Исседована ангиопротекторная роль таурина против действия яда кавказской гюрзы. С этой целью проверяются отдельные фракции яда, как возможные факторы, повреждающие эндотелий и приводящие к диффузным кровоизлияниям. После фракционирования яда гюрзы с помощью FPLC хроматографии было выявлено пять фракций, из которых вторая, третья четвертая проявляли фосфолипазную активность. Обнаруженно также , что вторая фракция с молекулярным весом 22-28 кДа, также обладает *in vitro* казеинолитической и in vivo геморрагической активностью.

Введение

В последнее время крайне вырос интерес к физиологически активным веществам, продуцируемым различными классами животных, которые могут быть использованы в самых различных отраслях народного хозяйства – от новых лекарственных препаратов в медицине до инсектицидов в сельском хозяйстве и питательных кремов в косметической промышленности. Это физиологически и фармакологически активные вещества, получаемые от медуз и улиток, жаб и саламандр, змей и пауков. Одни продукты жизнедеятельности животных используются в нативном виде, другие – после фракционирования и пурификации, третьи становятся прототипами семейств синтетических аналогов с улучшенными свойствами. С другой стороны постоянно существует проблема токсического действия указанных соединений при укусе или ужалении различными ядоносами или же при их злоупотреблении в качестве наркотических веществ.

Нами показано противотоксическое действие таурина при действии яда гюрзы [2,3]. Таурин проявляет ангиопротекторное действие при разрушении сосудов под воздействием эндопептидаз яда [13]. Однако многостороннее действие таурина на разные аспекты функционирования организма затрудняет понимание механизма его протекторного действия [4-11].

Нами уже выявлено, что таурин не блокирует действие ферментных систем яда *in vitro* [1], т.е. механизм защиты реализуется через физиологические и биохимические системы самого интоксицированного организма. В данной работе исследуется действие различных фракций яда гюрзы на сворачиваемость молока и яичного желтка, как высокочувствительных агентов по качественному выявлению ферментативной активности. Целью работы являлось определение модуса активности различных фракций яда, что позволит определить их в качестве фактора, против которого действует таурин.

Методика

Использовался яд высушенный производства фирмы «ГЭБ&СС» дойки 2009 года от гюрз (*Macrovipera lebetina obtusa*), обитающих на территории Армении. Производилось фракционирование яда гюрзы методом FPLC хроматографии. Проба в концентрации 30мг/мл инжектировалась в FPLC – систему в объеме 300 мкл. Скорость течения буфера - 0,5 мл/мин, объем каждой фракции – 0,67 мл. Яд растворяли и элюировали в калий-фосфатном буфере pH 7,0 на колонке Sepharose -12. Измерение оптической плотности цельного яда и полученных FPLC – фракций проводили на спектрофотометре СФ-46 (ЛОМО) при длине волны 280 нм. Далее проводилась лиофильная сушка фракций с окончательной досушкой в эксикаторе под форвакуумом. В качестве субстрата для определения казеинолитической активности ферментов яда использовалось молоко производства фирмы «Аштарак-Кат», а для определения активности фосфолипазы A_2 – желток яиц производства фирмы «Лусакертская П/Ф».

Результаты исследований

На рис.1 приведена FPLC хроматограмма яда гюрзы. Как видно из рисунка, основная масса яда элюируется в интервале 14-33 фракций. С целью более детального исследования были объединены элюаты фракций 14-18, 19-23 и 30-33, сходные по молекулярным весам.

Для определения молекулярных весов проводили градуирование колонки с помощью молекулярных маркеров. Хроматограмма использованных маркеров и их молекулярные веса приведены на рис.2. На основании градуировочной кривой были отбраны фракции с определенными молекулярными весами и затем исследованы: *in vitro* на молоке – на сворачиваемость (казеинолитическая активность), и *in vivo* на мышах– геморрагии (повреждение сосудов).

При инкубации различных фракций с молоком были получены следующие результаты: содержимое второй фракции свернуло молоко согласно имеющимся данным по цельному яду, в то время как остальные четыре фракции не вызывали сворачивания. В тесте на фосфолипазную активность вторая, третья и четвертая фракции ингибировали сворачивание желточно-буферной смеси, что свидетельствует о наличии фосфолипазной активности в данных фракциях.

Рис.1. FPLC хроматограмма яда гюрзы в калий-фосфатном буфере.

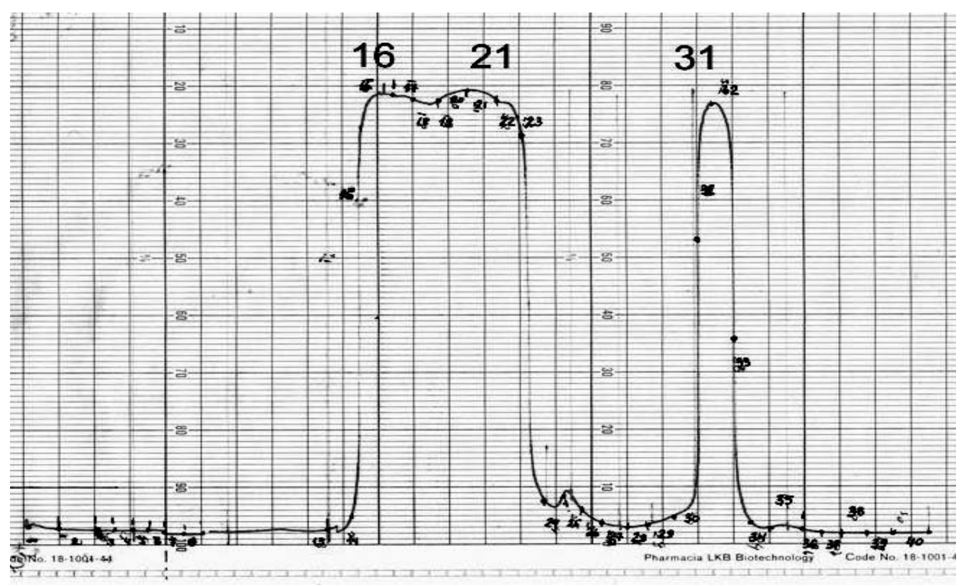
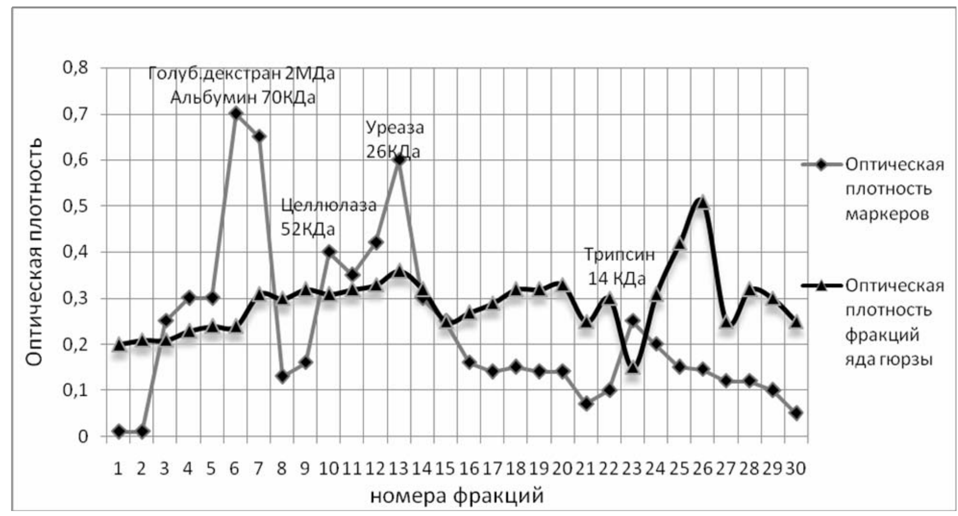


Рис.2. Определение молекулярных весов испытуемых фракций яда гюрзы. Указаны маркеры и их молекулярные веса.



Во вторую объединенную фракцию входило несколько фракций с молекулярными весами от 22 до 28Кда. Учитывая тот факт, что в яде гюрзы имеются литические ферменты со следующими близкими по величине молекулярными весами [12]: металлопротеиназа Р1 - 23кДа, металлопротеиназы Р3 - 48кДа и 66кДа, при этом димерная Р3 – 115-120 кДа, металлопротеиназа Р4 - 92кДа, а также тромбиноподобная сериновая протеаза с молекулярным весом 25 кДа, ди-

мерная фосфолипаза - 28 кДа и фактор 5 активирующая сериновая протеиназа 27 кДа, можно считать, что состав второй фракции, вероятно, ограничивается металлопротеиназой P1 и тромбиноподобной сериновой протеазой, при допущении, что димерная фосфолипаза и фактор 5 активирующая сериновая протеиназа не проявляют казеинолитической активности. Согласно нашим данным, казеинолитический фактор инактивируется при температуре выше 70^{O}C, что позволяет предположить что это металлопротеиназа P1.

Таким образом, после фракционирования яда кавказской гюрзы с помощью FPLC хроматографии было выявлено пять фракций, из которых вторая, третья четвертая проявляли фосфолипазную активность. Вторая фракция с молекулярным весом 22-28 кДа, помимо фосфолипазной активности, также обладала in vitro казеинолитической и in vivo геморрагической активностью. Скорее всего, именно в этой фракции высоко содержание металлопротеиназы P1. Эта фракция может служить инструментом для непосредственного разрушения кровеносных сосудов микроциркуляторного русла.

Планируется исследование ангиопротекторного эффекта таурина при экспериментально вызванной геморрагии введением фракции, содержащей данный фермент.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Восканян А.В., Антонян М.В., Мартиросян А.А*. Быстрый и простой метод идентификации яда гюрзы. Вестник МАНЭБ. 2003; т. 8, № 5, с. 225-227.
2. *Восканян А.В., Антонян М.В*. Влияние таурина на токсичность яда *Vipera lebetina* obtusa. Вестник МАНЭБ. 2005; т. 10, № 5, с. 214-215.
3. *Восканян А.В., Антонян М.В., Геворгян С.С*., и др. Ангиопротекторный эффект таурина против яда кавказской гюрзы. Вестник МАНЭБ. 2009; т.14, №4, Вып.1, 150-156.
4. *Anderzhanova E, Saransaari P, Oja SS.* Neuroprotective mechanisms of taurine in vivo. Adv. Exp. Med. Biol. 2006; 583:377-87.
5. *Awapara J, Campbell JW.* Utilization of C14O2 for the formation of some amino acids in three invertebrates. Comp Biochem Physiol. 1964; Feb;11:231-5
6. *Dowd P, Hershline R, Ham SW, Naganathan S.* Vitamin K and energy transduction: A base strength ampliphication mechanism. Science. 1995; 269:1684-1691
7. *Frendo J.* Conversion of sulfur compounds in human blood platelets. Taurine synthesis. Acta Biochim Pol. 1959; 6:277-85.
8. *Hasal SJ, Sun Y, Yan CC, ea.* Effects of taurine in precision-cut liver slices exposed to the pyrrolizidine alkaloid retrorsine. Adv Exp Med Biol. 1998; 442:79-83.
9. *Kearns S, Dawson R Jr.* Cytoprotective effect of taurine against hypochlorous acid toxicity to PC12 cells. Adv Exp Med Biol. 2000; 483:563-70.
10. *Law R.O* Mechanisms of taurine’s protective action against acute guanidine neurotoxicity. In: TAURINE 6: Adv. in Exp. Med. and Biol. 2006; 583:359-365, Eds Oja S.S, Saransaari P, Springer.

11. *McCarty MF*. Sub-optimal taurine status may promote platelet hyperaggregability in vegetarians. Med Hypotheses. 2004; 63(3):426-33.

12. *Sanz L., Ayvazyan N., Calvette J*. Snake venomics of the Armenian mountain vipers Macrovipera lebetina obtusa and Vipera raddei. Journal of Proteomics. 2008; 71 198-209.

13. *Voskanyan AV, Antonyan MV, Gevorgyan SS, Darbinyan AA, Melkonyan NN.* Antitoxic effect of taurine against Levantine viper venom. Intl. conference of Biotechnology and Health-3 & DAAD Alumni seminar, Octob.15-17, Yerevan, Armenia. 2009; pp.68-76.

14. *Inn-Ho Tsai, Hsin-Yu Tsai, Ying-Ming Wang, ea.* Venom phospholipases of Russell's vipers from Myanmar and eastern India—Cloning, characterization and phylogeographic analysis. Biochimica et Biophysica Acta. 2007; 1774, 1020–1028.

ԳՅՈՒՐԶԱՅԻ (MACROVIPERA LEBETINA OBTUSA) ԹՈՒՅՆԻ ԲԱԺՆԵՄԱՍԵՐԻ IN VITRO ԷՆԶԻՄԱՏԻԿ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆԸ

Բ.Գ. Բաբայան[1], Հ.Ռ. Վարդապետյան[1], Մ.Վ. Անտոնյան[2], Ս.Ս. Գևորգյան[2], Ա.Վ. Ոսկանյան[2]

[1] Ռուս-Հայկական /Սլավոնական/ Համալսարան,
[2] ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիոլոգիայի ինստիտուտ

Հետազոտվում է տաուրինի անոթպաշտպանիչ դերը կովկասյան գյուրզայի թույնի ազդեցության դեմ: Սույն նկատառումով ստուգվում են թույնի տարբեր բաժնեմասերը իբրեվ հնարավոր գործոններ, որոնք կարող են հրահրել էնդոթելիումի վնասմանը եվ բերել տարածված արյան զեղումների: Թույնի FPLC քռոմատոգռաֆիկ եղանակով անալիզի արցյունքում հայտնաբերվել են 5 ֆրաքցիաներ, վուոնցից II – IV ֆրաքցիաները ցուցաբերուն եին ֆոսֆոլիպազային ակտիվություն: Հայտնաբերվել է, որ 22-28 կԴա մոլեկուլյառ կսհռով II ֆրաքցիան օշտված է նաև in vitro կազեինոլիտիկ և in vivo հեմոռագիկ ակտիվուտյամբ:

ENZYMATIC ACTIVITY OF LEVANTINE VIPER (MACROVIPERA LEBETINA OBTUSA) VENOM FRACTIONS IN VITRO.

B.G. Babayan[1], H.R. Vardapetyan[1], M.V. Antonyan[2], S.S. Gevorgyan[2], A.V. Voskanyan[2]

[1]Russian-Armenian (Slavonic) University,
[2] Institute of Physiology of NAN, Armenia.

It is investigated taurine angioprotective effect against Levantine viper venom action. For this reason snake venom's different fractions are tested, as possible agents, which may cause endothelium destruction and hemorrhage. It was obtained five fractions of Levantine viper venom by FPLC chromatography and the II – IV fractions demonstrated phospholipases activity. The second fraction (22-28kDa) had *in vitro* caseinolytic and *in vivo* haemorragic activity too.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

ФИЗИКА

ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Правила для авторов журнала «Вестник РАУ. Серия: Физико-математические и естественные науки»

Журнал печатает оригинальные статьи по различным направлениям физико-математических и естественных наук.

• К рассмотрению принимаются статьи на русском или английском языках.

• Статьи должны быть представлены в жесткой и электронной форме.

• К материалам статьи прилагается Договор с Издательством РАУ, подписанный одним (ответственным) автором (оформляется в одном экземпляре).

• Статья должна иметь направление от учреждения, в котором выполнена работа. Рукопись подписывается автором (соавторами) с указанием фамилии, имени, отчества, домашнего адреса, места работы, номеров телефонов и e-mail. Необходимо указать, с кем вести переговоры и переписку. Авторы могут предложить возможных рецензентов. Отклоненные статьи не возвращаются.

• В редакцию направляются два экземпляра статьи, набранные шрифтом 12 пунктов через два интервала на одной стороне листа (приблизительно 30 строк на странице, 60 символов в строке). Поля с левой стороны должны быть не менее 4 см. Рукописные вставки не допускаются. Все страницы должны быть пронумерованы.

Перед текстом статьи указываются:

– название статьи;

– инициалы и фамилии авторов (для иностранных авторов на языке оригинала или на английском языке);

– название учреждения (без сокращений и аббревиатур), которое направляет статью, его адрес (город, страна);

– e-mail авторов.

Далее помещается аннотация объемом не более 0.5 машинописной страницы, которая не должна дублировать вводный или заключительный разделы. Аннотация не должна содержать литературных ссылок и аббревиатур. В конце аннотации указываются ключевые слова (keywords). Требуется также аннотация на английском языке.

• **Изложение материала** должно быть ясным и кратким, без формул и выкладок промежуточного характера и громоздких математических выражений.

• **Рисунки** представляются в двух экземплярах. Все надписи на рисунке следует давать на английском языке.

• **Формулы** следует набирать крупно, свободно и четко.

Нумерация формул должна быть сквозной по всей статье (не по разделам).

– Химические формулы, математические символы, сокращения (в том числе в индексах), единицы измерения набираются прямым шрифтом.

– Жирным шрифтом набираются только векторные величины (стрелка сверху не нужна).

– Греческие, готические и «рукописные» буквы должны легко распознаваться.

– Все остальные символы набираются курсивом.

• **Таблицы** должны быть напечатаны на отдельных листах, включенных в общую нумерацию текста. Обязательно наличие заголовков и единиц измерения величин. Все столбцы таблицы должны быть озаглавлены.

• **Список литературы** должен быть набран на английском языке и оформлен следующим образом:

- для книг – инициалы и фамилии *всех* авторов, название книги, издательство, место издания, год издания в круглых скобках, том;

- для периодических изданий – инициалы и фамилии *всех* авторов, название журнала, том;

- номера первой и последней страниц статьи, год издания в круглых скобках.

Нумерация ссылок должна соответствовать порядку их упоминания в тексте.